



(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2018 118 033.0**

(22) Anmeldetag: **25.07.2018**

(43) Offenlegungstag: **14.02.2019**

(51) Int Cl.: **H01L 23/60 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**15/674,218**                      **10.08.2017**      **US**

(71) Anmelder:

**Analog Devices Inc., Norwood, Mass., US**

(74) Vertreter:

**Fleuchaus & Gallo Partnerschaft mbB Patent- und  
Rechtsanwälte, 81369 München, DE**

(72) Erfinder:

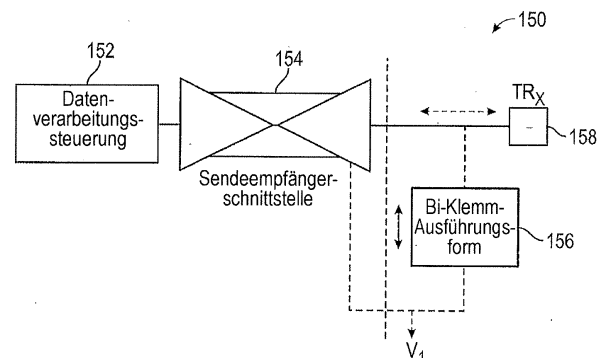
**Salcedo, Javier Alejandro, North Billerica, Mass.,  
US; He, Linfeng, Orlando, Fla., US**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Einrichtungen für Sendeempängerschnittstellen eines Kommunikationssystems**

(57) Zusammenfassung: Eine Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung zum Schutz von Schaltkreisen vor transienten elektrischen Ereignissen ist offenbart. Eine Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung weist einen ersten Bipolartransistor (BJT) und einen zweiten BJT auf, der mit dem ersten BJT gekoppelt ist, um als ein erster halbleitergesteuerter Gleichrichter (SCR) zu arbeiten, wobei eine Basis des ersten BJT mit einem Kollektor des zweiten BJT verbunden ist und eine Basis des zweiten BJT mit einem Emitter oder einem Kollektor des ersten BJT verbunden ist. Die Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung weist zusätzlich eine Auslösevorrichtung auf, die eine erste Diode mit einer Kathode aufweist, die elektrisch mit der Basis des ersten BJT verbunden ist. Die Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung weist ferner einen dritten BJT auf, der mit dem zweiten BJT gekoppelt ist, um als ein zweiter SCR zu arbeiten, wobei der dritte BJT einen Kollektor, der mit der Basis des zweiten BJT verbunden ist, und eine Basis, die mit dem Kollektor des zweiten BJT verbunden ist, aufweist.



**Beschreibung**

## HINTERGRUND

## Gebiet

**[0001]** Die offenbarte Technologie betrifft elektronische Elemente und insbesondere Schutzvorrichtungen für Sendeempfängerschnittstellen in Kommunikationssystemen zum Bereitstellen eines Schutzes vor transienten elektrischen Ereignissen, wie etwa einer elektrischen Überlast/elektrostatischen Entladung.

## Beschreibung des Stands der Technik

**[0002]** Gewisse elektronische Systeme können transienten elektrischen Ereignissen ausgesetzt werden, die für eine relativ kurze Dauer andauern und sich rasch ändernde Spannungen und/oder Ströme aufweisen. Transiente elektrische Ereignisse können beispielsweise elektrostatische Entladungs(ESD)-Ereignisse (ESD: Electrostatic Discharge) oder Elektromagnetische-Störung-Ereignisse aufweisen, die von der abrupten Freisetzung von Ladung von einem Objekt oder einer Person zu einem elektronischen System herrühren.

**[0003]** Transiente elektrische Ereignisse können integrierte Schaltkreise (ICs: Integrated Circuits) innerhalb eines elektronischen Systems aufgrund von Überspannungszuständen und/oder hohen Niveaus einer Leistungsdissipation über relativ kleinen Bereichen der ICs beschädigen. Die rasche und hohe Dissipation von Leistung kann potentiell zu einer Beschädigung von Kernschaltkreisen führen, die von einem Gate-Oxid-Durchschlag, einer Übergangsbeschädigung, einer Metallbeschädigung und einer Oberflächenladungsakkumulation und anderen Beschädigungsphänomenen herrühren. Zudem können transiente elektrische Ereignisse einen Latch-Up (mit anderen Worten eine unbeabsichtigte Erschaffung eines Pfades mit geringer Impedanz) induzieren, wodurch das Funktionieren der ICs gestört wird und ein permanenter Schaden an den ICs verursacht wird.

## KURZDARSTELLUNG

**[0004]** Bei einem Aspekt weist eine Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung einen ersten Bipolartransistor (BJT: Bipolar Junction Transistor) und einen zweiten BJT auf, der mit dem ersten BJT kreuzgekoppelt ist, um als ein erster halbleitergesteuerter Gleichrichter (SCR: Semiconductor-Controlled Rectifier) zu arbeiten, wobei eine Basis des ersten BJT mit einem Kollektor des zweiten BJT verbunden ist und eine Basis des zweiten BJT mit einem Emitter oder einem Kollektor des ersten BJT verbunden ist. Die Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung weist zusätzlich eine Aus-

lösevorrichtung auf, die eine erste Diode mit einer Kathode aufweist, die elektrisch mit der Basis des ersten BJT verbunden ist. Die Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung weist ferner einen dritten BJT auf, der mit dem zweiten BJT kreuzgekoppelt ist, um als ein zweiter SCR zu arbeiten, wobei der dritte BJT einen Kollektor, der mit der Basis des zweiten BJT verbunden ist, und eine Basis, die mit dem Kollektor des zweiten BJT verbunden ist, aufweist.

**[0005]** Bei einem anderen Aspekt weist eine Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung ein Halbleitersubstrat auf, das einen darin gebildeten bidirektionalen halbleitergesteuerten Gleichrichter (SCR) aufweist, wobei der bidirektionale SCR zwischen einem ersten Anschluss und einem zweiten Anschluss gebildet ist und wobei der bidirektionale SCR eine zentrale Wanne eines ersten Typs aufweist, die ein darin gebildetes zentrales stark dotiertes Gebiet eines zweiten Typs aufweist. Die Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung weist zusätzlich eine oder mehrere Metallisierungsebenen auf, die oberhalb des Halbleitersubstrats gebildet sind, und ein Paar von Dioden, wobei eine Kathode von jeder der Dioden elektrisch mit der zentralen Wanne des ersten Typs durch die eine oder die mehreren Metallisierungsebenen verbunden ist.

**[0006]** Bei einem anderen Aspekt weist eine Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung ein Halbleitersubstrat mit drei oder mehr darin gebildeten Wannern auf, die eine erste Wanne eines ersten Typs, die zwischen einer ersten Wanne eines zweiten Typs und einer zweiten Wanne des zweiten Typs dazwischenliegt, aufweist. Die Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung weist zusätzlich eine oder mehrere Metallisierungsebenen auf, die oberhalb des Halbleitersubstrats gebildet sind. Die Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung weist zusätzlich mehrere Bipolartransistoren (BJTs) auf, die in den drei oder mehr Wannern gebildet sind und dazu ausgebildet sind, als ein bidirektionaler halbleitergesteuerter Gleichrichter (SCR) und als ein SCR, der in den drei oder mehr Wannern gebildet ist, zu arbeiten, wobei sowohl der bidirektionale SCR als auch der SCR ein Paar von Bipolartransistoren (BJTs) aufweist, wobei jeder des Paares von BJTs eine Basis aufweist, die mit einem Kollektor des anderen des Paares von BJTs verbunden ist. Die Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung weist zusätzlich eine zweite Wanne des ersten Typs und eine dritte Wanne des ersten Typs auf, die in dem Halbleitersubstrat gebildet sind und durch die drei oder mehr Wannern eingeschlossen werden. Eine erste Diode ist in der zweiten Wanne des ersten Typs und der ersten Wanne des zweiten Typs gebildet und eine zweite Diode ist in der dritten Wanne des ersten Typs und der zweiten Wanne des zweiten Typs gebildet. Kathoden der ersten und zweiten Diode sind elektrisch durch die eine oder mehreren der Metallisierungsebenen miteinander verbunden.

## Figurenliste

**Fig. 1A** ist ein schematisches System-On-Chip (SOC) oder ein System-in-Package (SIP) mit einer oder mehreren bidirektionalen Schutzvorrichtungen auf Systemebene gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 1B** ist eine schematische Veranschaulichung eines integrierten Sendeempfänger-Schaltkreises mit einer bidirektionalen Schutzvorrichtung gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 1C** ist eine schematische Seitenansicht eines System-in-Package (SIP), das in einer gestapelten Konfiguration angeordnet ist und eine bidirektionale Schutzvorrichtung darin integriert aufweist, gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 1D** ist eine schematische Draufsicht eines System-in-Package (SIP), das in einer lateral angrenzenden Konfiguration angeordnet ist, mit einer darin angeordneten bidirektionalen Schutzvorrichtung gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 2A** und **Fig. 2B** sind schematische Schaltbilder beispielhafter Sendeempfängerschnittstellen mit einer bidirektionalen Schutzvorrichtung gemäß Ausführungsformen

**Fig. 3A** ist ein schematisches Schaltbild einer bidirektionalen Schutzvorrichtung mit einer Auslösevorrichtung und einem verstärkungsgesteuerten bidirektionalen halbleitergesteuerten Gleichrichter (SCR) gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 3B** veranschaulicht schematisch quasi-statische Strom-Spannung-Kurven einer Auslösevorrichtung und eines verstärkungsgesteuerten bidirektionalen SCR gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 3C** veranschaulicht schematisch Spannung-Zeit-Kurven der Auslösevorrichtung und des verstärkungsgesteuerten bidirektionalen SCR entsprechend einer Auslösevorrichtung und einem verstärkungsgesteuerten bidirektionalen SCR einzeln gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 4A** ist ein schematisches Schaltbild einer bidirektionalen Schutzvorrichtung mit einer pnp-Bipolartransistor-basierten Auslösevorrichtung und einem verstärkungsgesteuerten bidirektionalen SCR gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 4B** ist ein schematisches Schaltbild einer bidirektionalen Schutzvorrichtung mit einer lawinendiodenbasierten Auslösevorrichtung und einem verstärkungsgesteuerten bidirektionalen SCR gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 4C** ist ein schematisches Schaltbild einer bidirektionalen Schutzvorrichtung mit einer npn-Bipolartransistor-basierten Auslösevorrich-

tung und einem verstärkungsgesteuerten bidirektionalen SCR gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 5** ist ein schematisches Schaltbild einer bidirektionalen Schutzvorrichtung mit mehreren pnp-Bipolartransistor-basierten Auslösevorrichtungen und einem verstärkungsgesteuerten bidirektionalen SCR gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 6A** ist eine schematische Querschnittsansicht einer bidirektionalen Schutzvorrichtung mit einer Auslösevorrichtung und einem verstärkungsgesteuerten bidirektionalen SCR gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 6B** ist eine Ansicht von oben nach unten der in **Fig. 6B** veranschaulichten bidirektionalen Schutzvorrichtung.

**Fig. 7A** ist ein äquivalentes Schaltbild einer bidirektionalen Schutzvorrichtung gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 7B** ist eine schematische Querschnittsansicht der in **Fig. 7A** veranschaulichten bidirektionalen Schutzvorrichtung gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 8A** ist ein äquivalentes Schaltbild einer bidirektionalen Schutzvorrichtung mit einer Auslösevorrichtung, die Dioden aufweist, gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 8B** ist eine schematische Querschnittsansicht der in **Fig. 8A** veranschaulichten bidirektionalen Schutzvorrichtung gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 9** ist ein Graph, der simulierte DC-Strom-Spannung(IV)-Kurven von bidirektionalen Schutzvorrichtungen mit unterschiedlichen Konfigurationen gemäß Ausführungsformen veranschaulicht.

**Fig. 10A** ist ein Graph, der simulierte Spannung-Zeit(V-t)-Kurven unter TLP-Testbedingungen (TLP: Transmission Line Pulse - Übertragungsleitungspuls) von bidirektionalen Schutzvorrichtungen mit unterschiedlichen Konfigurationen gemäß Ausführungsformen veranschaulicht.

**Fig. 10B** ist ein Graph, der simulierte Spannung-Zeit(V-t)-Kurven unter VF-TLP-Testbedingungen (VF-TLP: Very Fast Transmission Line Pulse - sehr schneller Übertragungsleitungspuls) von bidirektionalen Schutzvorrichtungen mit unterschiedlichen Konfigurationen gemäß Ausführungsformen veranschaulicht.

**Fig. 11A** ist eine schematische Querschnittsansicht einer bidirektionalen Schutzvorrichtung mit einer Auslösevorrichtung, die Dioden aufweist, gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 11B** veranschaulicht relative Proportionen von simulierten Strömen, die durch unterschiedliche Strompfade in der in **Fig. 11A** veranschaulichten bidirektionalen Schutzvorrichtung fließen.

**Fig. 12A** ist ein äquivalentes Schaltbild einer bidirektionalen Schutzvorrichtung mit einer Auslösevorrichtung, die Dioden aufweist, und mehreren SCR-Strompfaden gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 12B** ist eine schematische Querschnittsansicht der in **Fig. 12A** veranschaulichten bidirektionalen Schutzvorrichtung gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 12C** ist eine schematische Querschnittsansicht der in **Fig. 12A** veranschaulichten bidirektionalen Schutzvorrichtung gemäß alternativen Ausführungsformen.

**Fig. 13A** ist eine schematische Querschnittsansicht einer bidirektionalen Schutzvorrichtung mit einer Auslösevorrichtung, die Dioden aufweist, und mehreren SCR-Strompfaden gemäß Ausführungsformen.

**Fig. 13B** veranschaulicht relative Proportionen von simulierten Strömen, die durch unterschiedliche Strompfade in der in **Fig. 13A** veranschaulichten bidirektionalen Schutzvorrichtung fließen.

**Fig. 14A** ist ein Graph (lineare Skala), der experimentelle Strom-Spannung(IV)-Kurven unter TLP-Testbedingungen von bidirektionalen Schutzvorrichtungen mit unterschiedlichen Konfigurationen gemäß Ausführungsformen veranschaulicht.

**Fig. 14B** ist ein Graph (logarithmische Skala), der in **Fig. 14A** veranschaulichte experimentelle Strom-Spannung(IV)-Kurven veranschaulicht.

**Fig. 15A** ist ein Graph, der experimentelle Strom-Spannung(IV)-Kurven unter VF-TLP-Testbedingungen von bidirektionalen Schutzvorrichtungen mit unterschiedlichen Konfigurationen gemäß Ausführungsformen veranschaulicht.

**Fig. 15B** ist ein Graph, der experimentelle Spannungs-Zeit(V-t)-Kurven unter VF-TLP-Testbedingungen (VF-TLP: Very Fast Transmission Line Pulse - sehr schneller Übertragungsleitungs-puls) von bidirektionalen Schutzvorrichtungen mit unterschiedlichen Konfigurationen gemäß Ausführungsformen veranschaulicht.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

**[0007]** Die folgende ausführliche Beschreibung von Ausführungsformen präsentiert verschiedene Beschreibungen von speziellen Ausführungsformen der Erfindung. Allerdings kann die Erfindung in einer Viel-

falt von verschiedenen Wegen umgesetzt werden, wie sie durch die Ansprüche definiert und abgedeckt werden. In dieser Beschreibung wird Bezug auf die Zeichnungen genommen, in denen gleiche Bezugszeichen identische oder funktional ähnliche Elemente anzeigen.

**[0008]** Begriffe wie auf, unter, über und so weiter, wie hier verwendet, beziehen sich auf eine wie in den Figuren gezeigt orientierte Vorrichtung und sollten demgemäß aufgefasst werden. Auch versteht sich, dass, da Gebiete innerhalb einer Halbleitervorrichtung (wie etwa eines Transistors) durch Dotieren verschiedener Teile eines Halbleitermaterials mit unterschiedlichen Fremdstoffen oder unterschiedlichen Konzentrationen von Fremdstoffen definiert sind, diskrete physische Grenzen zwischen unterschiedlichen Gebieten in der fertigen Vorrichtung möglicherweise nicht wirklich existieren, sondern dass stattdessen Gebiete von einem zu einem anderen übergehen können. Manche Grenzen, wie in den begleitenden Figuren gezeigt, sind von dieser Art und sind lediglich als abrupte Strukturen zur Unterstützung des Lesers veranschaulicht. Bei den unten beschriebenen Ausführungsformen können p-Typ-Gebiete ein p-Typ-Halbleitermaterial, wie etwa Bor, als einen Dotierungsstoff aufweisen. Weiter können n-Typ-Gebiete ein n-Typ-Halbleitermaterial, wie etwa Phosphor, als einen Dotierungsstoff aufweisen. Ein Fachmann versteht verschiedene Konzentrationen von Dotierungsstoffen in unten beschriebenen Gebieten.

**[0009]** Aufkommende Integrierte Schaltkreise (ICs) für verschiedene Anwendungen einschließlich Automobil- und Verbraucherelektronik, die unter Verwendung von Niederspannung-CMOS-Prozessen gebildet werden, verwenden zunehmend Eingang/Ausgang(E/A)-Schnittstellenstifte, die bei relativ hohen bidirektionalen Spannungen arbeiten. Diese ICs arbeiten oft in relativ harschen Umgebungen und sollten zutreffenden Immunitätsspezifikationen für elektrostatische Entladung (ESD) und elektromagnetische Störung (EMI: Electromagnetic Interference) entsprechen. Robuste ESD- und EMI-Immunität ist wünschenswert, weil die ICs einem breiten Spektrum von transienten elektrischen Ereignissen mit hoher Spannung ausgesetzt werden können, die normale Betriebsbedingungen überschreiten.

**[0010]** Die transienten elektrischen Ereignisse können z. B. rasches Ändern eines Hochenergiesignals, wie etwa ein Elektrostatische-Entladung(ESD)-Ereignis, sein. Das transiente elektrische Ereignis kann mit einem Überspannungsereignis assoziiert sein, das durch einen Benutzerkontakt verursacht wird. Unter anderen Umständen kann das transiente elektrische Ereignis durch einen Hersteller erzeugt werden, um die Robustheit des integrierten Sendeempfängerschaltkreises unter einer definierten Belastungsbedingung zu prüfen, welche durch durch verschiede-

ne Organisationen, wie etwa Joint Electronic Device Engineering Council (JEDEC), International Electrotechnical Commission (IEC) und Automotive Engineering Council (AEC), erstellte Standards beschrieben werden kann.

**[0011]** Verschiedene Techniken können eingesetzt werden, um einen Kern oder eine Hauptschaltungsanordnung der ICs vor diesen beschädigenden transienten elektrischen Ereignissen zu schützen. Manche Systeme setzen externe chipexterne Schutzvorrichtungen ein, um sicherzustellen, dass elektronische Kernsysteme nicht als Reaktion auf die transienten elektrostatischen und elektromagnetischen Ereignisse beschädigt werden. Jedoch gibt es aufgrund von Leistungsfähigkeit, Kosten und räumlichen Überlegungen einen zunehmenden Bedarf an Schutzvorrichtungen, die mit der Hauptschaltungsanordnung, das heißt, der zu schützenden Schaltungsanordnung, monolithisch integriert sind.

**[0012]** Eine Zuverlässigkeit eines elektronischen Schaltkreises wird durch das Versehen von Stiften oder Pads eines IC mit Schutzvorrichtungen verbessert. Die Schutzvorrichtungen können den Spannungspegel bei den Pads innerhalb eines vordefinierten sicheren Bereichs halten, indem sie von einem Zustand hoher Impedanz zu einem Zustand niedriger Impedanz übergehen, wenn die Spannung des transienten elektrischen Ereignisses eine Auslöserspannung erreicht. Danach kann die Schutzvorrichtung wenigstens einen Teil des Stroms, der mit dem transienten elektrischen Ereignis assoziiert ist, nebenschließen, bevor die Spannung eines transienten elektrischen Ereignisses eine positive oder negative Fehlerspannung erreicht, die zu einer der häufigsten Ursachen einer IC-Beschädigung führen kann. Die Schutzvorrichtungen können zum Beispiel dazu ausgebildet sein, einen internen Schaltkreis vor transienten Signalen zu schützen, die die IC-Leistung-High- und -Leistung-Low(zum Beispiel Masse)-Spannungsversorgungspegel überschreiten. Es kann wünschenswert sein, dass eine Schutzvorrichtung für unterschiedliche Strom-und-Spannung(I-V)-Sperrkennlinien konfigurierbar ist und dazu in der Lage ist, einen Schutz vor positiven und negativen transienten elektrischen Ereignissen mit einer schnellen Operationsleistungsfähigkeit und einer geringen statischen Leistungsdissipation bei normalen Betriebsspannungsbedingungen zu erbringen.

**[0013]** Ein Technologiebereich, in dem die Schutzanforderungen zunehmend komplexer hinsichtlich Geschwindigkeit in der Waage mit Strom- und Spannungsbelastbarkeit werden, sind Technologien, die ein System-on-Chip (SOC) oder ein System-in-Package (SIP) verwenden.

**[0014]** Fig. 1A ist ein schematisches Diagramm eines System-On-Chip (SOC)/ eines System-in-Pa-

ckage (SIP) **100** mit einer darin integrierten bidirektionalen Schutzvorrichtung gemäß hier offenbarten Ausführungsformen. Das SOC/SIP **100** weist eine Signalverarbeitungsplattform auf, die verschiedene Komponenten für verschiedene Anwendungen integriert, einschließlich Verbraucherkommunikationssystemen, Gesundheitsvitalsignalverarbeitung, Robotik und missionskritischer industrieller Instrumentation, Luft- und Raumfahrts- und Automobilplattformen, unter anderen Anwendungen. Das SOC/SIP **100** weist eine oder mehrere bidirektionale Schutzvorrichtungen (z. B. die gestrichelt eingekreiste Komponente) auf, welche Schutzvorrichtungen auf Systemebene sein können, bei einer Sendeempfängerschnittstelle, z. B. einer Mehrfachkanal-Sendeempfängerschnittstelle ( $R_{XA}$ ,  $R_{XB}$ ,  $T_{XA}$ ,  $T_{XB}$  usw.) zum Schutz verschiedener Komponenten. Das SOC/SIP **100** weist typischerweise eine zentrale Hauptdigital-signalverarbeitungssteuerung, beispielsweise einen Mikroprozessor und eine Speichereinheit, die kommunikativ mit einem funktionalen Datenerfassungsblock zur analogen Datenabtastung und Datenumwandlung gekoppelt sein können, und/oder drahtlose Sendeempfänger zur Fernsteuerung und/oder eine Sensorbank zur alternierenden Erfassung kritischer Parameter von Interesse, beispielsweise Temperatur, Druck, Stärke, Gaskonzentration, Position, Lichtintensität oder chemische Zusammensetzung, und/oder ein Leistungsverwaltungs- und Energy-Harvesting-System, um die Leistungsbedingungen in dem System zu konditionieren, unter anderen funktionalen Blöcken, auf. Ein SIP oder ein heterogen integriertes SOC mit diesen und anderen funktionalen Blöcken kann in einer oder mehreren Halbleiterprozess-technologien implementiert sein und bidirektionale Schutzvorrichtungen zum zuverlässigen Betrieb unter variablen Umgebungsbedingungen, die mit unterschiedlichen Endanwendungen assoziiert sind, darin integriert aufweisen.

**[0015]** Fig. 1B ist ein schematisches Diagramm eines Sendeempfänger-IC **150** mit einer darin integrierten bidirektionalen Schutzvorrichtung **156** gemäß Ausführungsformen. Der Sendeempfänger-IC **150** weist einen Sendeempfängerschnittstellenschaltkreis **154** auf, der mit einem Kernschaltkreis **152**, z. B. einem Mehrzweckdatenverarbeitungssteuerschaltkreis, gekoppelt ist, der für verschiedene Anwendungen einschließlich Datenabtastung und Duplexkommunikationsanwendungen in Verbraucherkommunikationssystemen, Gesundheitsvitalsignalverarbeitung und missionskritischer industrieller Instrumentation und Luft- und Raumfahrts- und Automobilplattformen unter anderen, verwendet werden kann. Der Sendeempfängerschnittstellenschaltkreis **154** ist dazu ausgebildet, mit einem Sendeempfänger **158** zum Empfangen und/oder Übertragen von Signalen dazwischen gekoppelt zu werden. Bei Kopplung mit dem Sendeempfänger **158** ist der Sendeempfängerschnittstellenschaltkreis **154** gleich-

zeitig direkt elektrisch mit der bidirektionalen Schutzvorrichtung **156** zum Schutz des Sendeempfängerschnittstellenschaltkreises **154** gekoppelt. Der Kernschaltkreis **152** ist dazu ausgebildet, Steuersignale für die Sendeempfängerschnittstelle **154** zu erzeugen, sodass ihr Betrieb der Signalgebung gesteuert wird.

**[0016]** Immer noch unter Bezugnahme auf **Fig. 1B** ist die bidirektionale Schutzvorrichtung **156** elektrisch zwischen dem Sendeempfänger **158** und einer Leistungsniederspannung  $V_1$ , die zum Beispiel eine Leistungsniederspannung mit niedriger Impedanz, wie etwa Masse, sein kann, verbunden. Wenn ein transientes elektrisches Ereignis durch den Sendeempfänger **158**, z. B. durch Schnittstellenstifte, empfangen wird, kann die bidirektionale Schutzvorrichtung **156** Strom, der mit dem transienten elektrischen Ereignis assoziiert ist, zu der Leistungsniederspannung  $V_1$ , z. B. Systemmasse (GND), umleiten oder nebenschließen, wodurch ein Schaden an den internen Schaltkreiskomponenten, die elektrisch mit den Schnittstellenstiften verbunden sind, verhindert wird.

**[0017]** Der Sendeempfängerschnittstellenschaltkreis **154** kann mit Eingangssignalen mit einer weiten Vielfalt von Gleichtaktspannungsbereichen arbeiten. Die Bereiche von Überspannungsbedingungen unter verschiedenen Betriebsumgebungen weisen z. B. die Bereiche auf, die durch den ISO-7637- und ISO-16750-Standard definiert sind. Um unter diesen Umgebungen reaktionsfähig zu sein, kann es wünschenswert sein, die Schutzvorrichtung **156** so zu gestalten, dass sie bei verschiedenen bidirektionalen Sperrspannungen arbeitet, um schnell (z. B. innerhalb von 2 ns) zu reagieren und große Beträge eines Belastungsstroms zu bewältigen, um eine Systembeschädigung während Belastungsbedingungen, wie durch z. B. den IEC 61000-4-2- oder ISO10605-Standard definiert, sicher zu verhindern. Außerdem kann es bei manchen Anwendungen wünschenswert sein, die Schutzvorrichtung **156** mit variablen und/oder asymmetrischen Auslöserspannungen und variablen und/oder asymmetrischen Haltespannungen zu haben.

**[0018]** **Fig. 1C** ist eine schematische Seitenansicht eines System-in-Package (SIP) **160**, das in einer gestapelten Konfiguration angeordnet ist und eine bidirektionale Schutzvorrichtung darin integriert aufweist, gemäß Ausführungsformen. Das SIP **160** weist mehrere Systems-on-Chip (SOCs) einschließlich eines ersten SOC **162** und eines zweiten SOC **164** auf, die kommunikativ miteinander gekoppelt sind und physisch in einer gestapelten Konfiguration unter Verwendung einer Klebeschicht **168** befestigt sind. Gemäß Ausführungsformen kann das erste SOC **162** z. B. ein Hochleistungssignalverarbeitungs-, Erfassungs- und Kommunikations-SOC sein, das in einer ersten Halbleiterprozesstechnologie implementiert

ist, und kann das zweite SOC **164** eine bidirektionale Schutzvorrichtung aufweisen, die in einer zweiten Halbleiterprozesstechnologie implementiert ist. Das zweite SOC **164** ist dazu ausgebildet, durch die integrierte bidirektionale Schutzvorrichtung mit einer externen Kontaktanschlussleitung **172** gekoppelt zu sein, wodurch ein Schutz für das SIP **160** vor transienten elektrischen Ereignissen bereitgestellt wird.

**[0019]** **Fig. 1D** ist eine schematische Draufsicht eines System-in-Package (SIP) **180**, das in einer lateral angrenzenden Konfiguration angeordnet ist, mit einer darin angeordneten bidirektionalen Schutzvorrichtung gemäß Ausführungsformen. Das SIP **180** weist mehrere SOC's auf, einschließlich eines ersten System-on-Chip (SOC) **184** und eines zweiten System-on-Chip (SOC) **188**, die kommunikativ miteinander gekoppelt sind und lateral aneinander angrenzen. Das zweite SOC **188** kann z. B. ein Hochleistungs-Signal Prozessor-, -Isolator-, -Erfassungs- oder -Kommunikation-SOC sein, das in mehreren spezialisierten Halbleiterprozesstechnologien implementiert ist. Das erste SOC **184** kann mehrere bidirektionale Schutzvorrichtungen **186a - 186c**, die in einer unterschiedlichen Halbleiterprozesstechnologie implementiert sind, gemäß Ausführungsformen aufweisen. Das zweite SOC **184** ist dazu ausgebildet, durch bidirektionale Schutzvorrichtungen, die darin integriert sind, mit mehreren externen Kontaktanschlussleitungen gekoppelt zu werden, wodurch ein Schutz für das SIP **180** vor transienten elektrischen Ereignissen bereitgestellt wird. Mehrere Verbindungen zwischen den unterschiedlichen Dies, die innerhalb des SOC eingebunden sind, oder zwischen den Dies und den Package-Stiften können wie für die Anwendung angemessen innerhalb des Schutzzumfangs der offenbaren Technologie gebildet werden.

**[0020]** **Fig. 2A** und **Fig. 2B** veranschaulichen Schaltbilder von Sendeempfängerschnittstellen **200** bzw. **250**, die mit den bidirektionalen Schutzvorrichtungen implementiert werden können, gemäß Ausführungsformen. Die Sendeempfängerschnittstellen **200**, **250** können zum Beispiel ein Schnittstellen-IC, wie etwa ein Halb- oder Vollduplexkommunikationssendeempfänger-IC, sein, bei dem die Anschlüsse oder Stifte direkt für einen Benutzer freigelegt sind, beispielsweise mit Autokabeln oder einer Industriemaschinenhärte in einer normalen Betriebsumgebung verbunden sind. Die Sendeempfängerschnittstellen **200**, **250** können verwendet werden, um Daten über die Schnittstelle zu kommunizieren, wie etwa durch Niederspannungsdifferentialsignalgebung.

**[0021]** Unter Bezugnahme auf **Fig. 2A** weist die Sendeempfängerschnittstelle **200** einen ersten und zweiten Anschluss (**Tx**, **Rx** links und rechts), eine Leistungsklemme **204**, eine erste bis vierte Schaltkreistreibersteuereinheit **208a-208d**, eine erste Klemmvorrichtung **202a**, eine zweite Klemmvorrichtung

**202b**, einen ersten bis sechsten n-Typ-Metall-Oxid-Halbleiter(NMOS)-Transistor **216a-216f**, einen ersten bis vierten p-Typ-Metall-Oxid-Halbleiter(PMOS)-Transistor **212a-212d**, einen ersten Widerstand **R1** und einen zweiten Widerstand **R2** auf.

**[0022]** Die NMOS-Transistoren **216a-216f** und die PMOS-Transistoren **212a-212d** können zum Beispiel zum elektrischen Übertragen von Signalen über die Anschlüsse **Tx\_Rx** verwendet werden. Zum Beispiel können die Schaltkreistreibersteuereinheiten **208a-208d** verwendet werden, um die Gate-Spannungen der NMOS-Transistoren **216a-216f** und der PMOS-Transistoren **212a, 212d** zu steuern, um eine differentielle Spannung zwischen den Anschlüssen **Tx\_Rx** zu steuern. Die Spannung kann eine positive oder negative Polarität aufweisen.

**[0023]** Die erste Klemmvorrichtung **202a** weist einen ersten Anschluss, der elektrisch mit dem ersten Anschluss **Tx\_Rx** (links) verbunden ist, und einen zweiten Anschluss, der elektrisch mit einer Leistungsniederspannung, einer Substratspannung  $V_{SUB}$ , verbunden ist, auf. Gleichermaßen weist die zweite Klemmvorrichtung **202b** einen ersten Anschluss, der elektrisch mit dem zweiten Anschluss **Tx\_Rx** (rechts) verbunden ist, und einen zweiten Anschluss, der elektrisch mit einer Substratspannung  $V_{SUB}$  verbunden ist, auf. Die erste und zweite Klemmvorrichtung **202a, 202b** können verwendet werden, um die Sendeempfängerschnittstelle **200** vor ESD- und/oder EMI-Ereignissen zu schützen. Die Klemmvorrichtungen **202a, 202b** können Komponenten der Sendeempfängerschnittstelle **200** einschließlich zum Beispiel parasitärer Substratvorrichtungen, die mit den Komponenten assoziiert sind, schützen.

**[0024]** **Fig. 2B** zeigt ein Schaltbild einer anderen Sendeempfängerschnittstelle **250**, die eine oder mehrere hier beschriebene Doppelpolaritätsüberspannungsklemmvorrichtungen aufweisen kann, gemäß Ausführungsformen. Die Sendeempfängerschnittstelle **250** weist einen ersten Stift **1**, einen zweiten Stift **2**, einen Sendeempfängerschaltkreis (Tx/Rx) **253**, eine erste Klemmvorrichtung **257a**, eine zweite Klemmvorrichtung **257b**, einen ersten n-Typ-Metall-Oxid-Halbleiter(NMOS)-Transistor **258a**, einen zweiten NMOS-Transistor **258b**, einen p-Typ-Metall-Oxid-Halbleiter(PMOS)-Transistor **259a**, einen zweiten PMOS-Transistor **259b**, einen ersten Widerstand **260a**, einen zweiten Widerstand **260b**, einen dritten Widerstand **260c**, einen vierten Widerstand **260d**, eine erste Diodenstruktur **261a** und eine zweite Diodenstruktur **261b** auf.

**[0025]** Die NMOS-Transistoren **258a, 258b** und die PMOS-Transistoren **259a, 259b** können verwendet werden, um Signale elektrisch über den ersten und zweiten Stift **1, 2** zu übertragen. Zum Beispiel kann der Sendeempfängerschaltkreis **253** verwendet wer-

den, um die Gate-Spannungen der NMOS-Transistoren **258a, 258b** und der PMOS-Transistoren **259a, 259b** zu steuern, z. B. um eine differentielle Spannung zwischen dem ersten und zweiten Stift **1, 2** zu steuern. Die Spannung kann eine positive oder negative Polarität aufweisen.

**[0026]** Immer noch unter Bezugnahme auf **Fig. 2B** kann die Sendeempfängerschnittstelle **250** Leistung von einer Leistung-High-Versorgungsspannung  $V_2$  und einer Leistung-Low-Versorgungsspannung  $V_1$  empfangen. Gewisse Komponenten der Sendeempfängerschnittstelle **250**, wie etwa die NMOS-Transistoren **258a, 258b**, die PMOS-Transistoren **259a, 259b**, die Diodenstrukturen **261a, 261b** und die Klemmvorrichtungen **257a, 257b** können in einem Substrat gefertigt werden, das unter Verwendung einer Substratspannung  $V_{SUB}$  vorgespannt wird.

**[0027]** Verschiedene parasitäre Substratvorrichtungen können in der Sendeempfängerschnittstelle **250** vorhanden sein. Die parasitären Substratvorrichtungen können Anschlüsse aufweisen, die elektrisch mit der Substratspannung  $V_{SUB}$  verbunden sind. Ohne Schutz können die parasitären Substratvorrichtungen während ESD- und/oder EMI-Bedingungen beschädigt werden.

**[0028]** Bei der veranschaulichten Konfiguration weisen die NMOS-Transistoren **258a, 258b** parasitäre Substratbipolartransistoren **267a** bzw. **267b** auf. Außerdem weisen die PMOS-Transistoren **259a, 259b** parasitäre Substratdioden **268a-268d** auf. Des Weiteren weisen die Diodenstrukturen **261a, 261b** parasitäre Substratdioden **268e** bzw. **268f** auf. Obwohl eine bestimmte parasitäre Substratvorrichtungen in **Fig. 2B** gezeigt sind, sind andere parasitäre Substratvorrichtungen möglich.

**[0029]** Die erste Klemmvorrichtung **257a** weist einen ersten Anschluss **VH**, der elektrisch mit dem ersten Stift **1** verbunden ist, einen zweiten Anschluss **VL**, der elektrisch mit der Leistungsniederspannung  $V_1$  verbunden ist, und einen Substratanschluss, der elektrisch mit der Substratspannung  $V_{SUB}$  verbunden ist, auf. Außerdem weist die zweite Klemmvorrichtung **257b** einen ersten Anschluss **VH**, der elektrisch mit dem zweiten Stift **2** verbunden ist, einen zweiten Anschluss **VL**, der elektrisch mit der Leistungsniederspannung  $V_1$  verbunden ist, und einen Substratanschluss, der elektrisch mit der Substratspannung  $V_{SUB}$  verbunden ist, auf. Die erste und zweite Klemmvorrichtung **257a, 257b** können verwendet werden, um die Sendeempfängerschnittstelle **250** vor ESD- und/oder EMI-Ereignissen zu schützen. Die Klemmvorrichtungen **257a, 257b** können Komponenten der Sendeempfängerschnittstelle **250** einschließlich zum Beispiel parasitärer Substratvorrichtungen, die mit den Komponenten assoziiert sind, schützen.

**[0030]** Die Sendeempfängerschnittstellen **200** und **250** aus **Fig. 2A** bzw. **Fig. 2B** veranschaulichen beispielhafte Sendeempfängerschnittstellen, die mit hier beschriebenen bidirektionalen Schutzvorrichtungen implementiert werden können. Jedoch können die Sendeempfängerschnittstellen auf andere Arten implementiert werden, um Kommunikationsprotokollbegrenzungen zu erfüllen.

**[0031]** Außerdem können, obwohl die Klemmvorrichtungen in dem Zusammenhang von Sendeempfängerschnittstellen veranschaulicht wurden, die hier beschriebenen Klemmvorrichtungen in einem breiten Bereich von ICs und anderen elektronischen Elementen verwendet werden, einschließlich zum Beispiel in industriellen Steuersystemen, Schnittstellensystemen, Leistungsverwaltungssystemen, MEMS-Sensorsystemen (MEMS: mikroelektromechanisches System), Automobilsystemen, Drahtlosinfrastruktursystemen und/oder Digitalsignalverarbeitung (DSP)-Systemen. Außerdem können, obwohl die Sendeempfängerschnittstelle **20** als zwei Signalstifte und zwei Klemmvorrichtungen aufweisend veranschaulicht wurde, mehr oder weniger Klemmvorrichtungen und Stifte enthalten sein, um Systemspezifikationen zu erfüllen. Des Weiteren können Klemmvorrichtungen auf andere Arten verbunden sein. Zum Beispiel können die Anschlüsse der Klemmvorrichtungen auf andere Arten verbunden sein, wie etwa mit anderen Knoten und/oder Spannungen.

**[0032]** Manche Schutzvorrichtungen beinhalten einen oder mehrere halbleitergesteuerte Gleichrichter (SCRs), die einen asymmetrischen oder symmetrischen Sperrschutz vor EOS-Ereignissen (EOS: elektrische Überlast) mit relativ hoher Spannung und/oder Stromdichte bereitstellen können. Manche SCRs weisen jedoch eine langsame Reaktionszeit auf, was die Fähigkeit zum Schutz von elektronischen Systemen beeinträchtigen kann, die Begrenzungen eines geringen Eingangswiderstands (z. B.  $< 20\Omega$ ) unterliegen. Die Schutzvorrichtungen müssen oft konkurrierende Ansprüche des Bereitstellens eines Schutzes vor EOS-Pulsen mit einer hohen Spannung, während eine Haltespannung bereitgestellt wird, die hoch genug ist, um einen Latch-Up zu verhindern, erfüllen, während sie dazu ausgebildet sind, schnell auf transiente Belastungen zu reagieren. Jedoch kann das gleichzeitige Erfüllen konkurrierender Ansprüche schwierig sein, da eine Verbesserung eines Parameters oft zu einer Verschlechterung anderer Parameter führt. Beispielsweise kann ein relativ langer Abstand zwischen den zwei Anschlüssen eines SCR die Sperr- und Haltespannung erhöhen. Jedoch führt ein solcher Ansatz zu einer geringeren Einschaltgeschwindigkeit und einer hohen Überschwingspannung als Reaktion auf EOS-Ereignisse. Manche zum Behandeln von Überschwingsproblemen vorgeschlagene Optionen weisen die Verwendung von externen Auslöserschaltkreisen auf,

um den Einschaltprozess zu beschleunigen. Jedoch führt das Einsetzen eines externen Auslöserschaltkreises zu einer größeren Grundfläche, höheren Kosten und ist nicht immer für Schnittstellenschaltkreise mit einem hohen Doppelpolaritätsspannungshubsignal geeignet. Dementsprechend werden im Folgenden verschiedene Ausführungsformen von Schutzvorrichtungen bereitgestellt, die kompakt sind und schnelle Reaktionszeiten haben.

**[0033]** **Fig. 3A** ist ein schematisches Schaltbild einer bidirektionalen Schutzvorrichtung **400** mit einer Auslösevorrichtung und einem verstärkungsgesteuerten bidirektionalen halbleitergesteuerten Gleichrichter (SCR) gemäß Ausführungsformen. Unter Bezugnahme auf **Fig. 3A** weist die bidirektionale Schutzvorrichtung **400** einen ersten Anschluss (**T1**) und einen zweiten Anschluss (**T2**) auf, die dazu ausgebildet sind, ein transientes elektrisches Signal dazwischen zu empfangen, z. B. ein transientes positives oder negatives Spannungssignal, das eine Auslösespannung der bidirektionalen Schutzvorrichtung **400** überschreiten kann. Zum Beispiel kann **T1** oder **T2** ein Signalstift oder -pad eines IC sein und kann der andere von **T1** und **T2** ein Leistung-Low-Stift oder -Pad sein, so dass ein Pad, das mit der Leistung-Low-Spannungsversorgung, wie etwa  $V_{SS}$  oder Masse, assoziiert ist.

**[0034]** Die bidirektionale Schutzvorrichtung **400** aus **Fig. 3A** weist eine Auslösevorrichtung **402**, die dazu ausgebildet ist, einen ersten Strom-Shunt-Pfad bereitzustellen, und einen bidirektionalen halbleitergesteuerten Gleichrichter (SCR) **404**, der dazu ausgebildet ist, einen zweiten Strom-Shunt-Pfad bereitzustellen, auf. Die Auslösevorrichtung **402** und der bidirektionale SCR **404** sind elektrisch miteinander gekoppelt und so ausgebildet, dass die Auslösevorrichtung **402** beim Erreichen einer Schwelle oder beim Auslösen einen ersten Strom entlädt oder empfängt oder einen Ladungsträger (d. h. Elektronen oder Löcher) entlädt, die wenigstens teilweise bewirken, dass der bidirektionale SCR **404** das Entladen eines zweiten Stroms auslöst.

**[0035]** Die Auslösevorrichtung **402** der bidirektionalen Schutzvorrichtung **400** weist einen npn-Bipolartransistor (BJT) **410** und/oder einen pnp-Bipolartransistor (BJT) **406** und/oder eine pn-Lawinendiode **408** auf. Beispiele für die Auslösevorrichtung **402** mit verschiedenen Vorrichtungen sind unten ausführlicher beschrieben. **Fig. 4A** veranschaulicht eine Ausführungsform mit einem npn-BJT, **Fig. 4B** veranschaulicht ein Ausführungsbeispiel mit einer pn-Lawinendiode und **Fig. 4C** veranschaulicht eine Ausführungsform mit einem pnp-BJT. Die Auslösevorrichtung **402** weist einen ersten Vorrichtungsanschluss **t1** und einen zweiten Vorrichtungsanschluss **t2** auf, von denen jeder einer von Transistoranschlüssen oder Diodenanschlüssen der Auslösevorrichtung **402** sein kann.

Der **t1** der Auslösevorrichtung **402** ist elektrisch mit **T1** der Bipolarschutzvorrichtung **400** verbunden, z. B. direkt verbunden, während **t2** der Auslösevorrichtung **402** elektrisch mit dem bidirektionalen SCR **404** verbunden, z. B. durch einen dritten Transistor (**R3**) verbunden, ist und dazu ausgebildet ist, einen Strom an diesen zu liefern oder einen Strom von diesem zu empfangen (d. h. einen Ladungsträger zu liefern). Bei verschiedenen Ausführungsformen kann der **t2** der Auslösevorrichtung mit einem zentralen Gebiet des bidirektionalen SCR **404**, z. B. dem zentralen n-Typ-Gebiet eines bidirektionalen npnpn-SCR, verbunden sein.

**[0036]** Es versteht sich, obwohl dies nicht in **Fig. 3A** gezeigt ist, dass eine zusätzliche Auslösevorrichtung vorhanden sein kann, die einen dritten Anschluss (**t3**, nicht gezeigt) aufweist, der elektrisch mit dem **T2** der Bipolarschutzvorrichtung **400** verbunden, z. B. direkt verbunden, ist und gemeinsam durch den dritten Widerstand (**R3**) mit dem bidirektionalen SCR **404** verbunden ist. Eine Ausführungsform mit der zusätzlichen Auslösevorrichtung ist unten mit Bezug auf **Fig. 5** ausführlicher beschrieben.

**[0037]** Der bidirektionale SCR **404** weist einen ersten npn-Bipolartransistor (BJT) **412**, einen bidirektionalen pnp-Bipolartransistor (BJT) **414** und einen zweiten npn-Bipolartransistor (BJT) **416** auf. Der Emitter des ersten npn-BJT **412** ist durch einen ersten Widerstand **R1** elektrisch mit **T1** verbunden und die Basis des ersten npn-BJT **412** ist gemeinsam elektrisch mit **T1** verbunden, so dass der Kollektor und die Basis des ersten npn-BJT **416** durch den **R1** elektrisch miteinander verbunden sind. Die Basis des ersten npn-BJT **412** ist elektrisch mit einem Kollektor/Emitter (C/E) des bidirektionalen pnp-BJT **414** verbunden und der Kollektor des ersten npn-BJT **412** ist elektrisch mit der Basis des bidirektionalen pnp-BJT **414** verbunden. Analog ist der Emitter des zweiten npn-BJT **416** durch einen zweiten Widerstand **R2** elektrisch mit **T2** verbunden und die Basis des zweiten npn-BJT **416** ist gemeinsam elektrisch mit **T2** verbunden, so dass der Kollektor und die Basis des zweiten npn-BJT **416** durch den **R2** elektrisch miteinander verbunden sind. Die Basis des zweiten npn-BJT **416** ist elektrisch mit einem Emitter/Kollektor (E/C) des bidirektionalen pnp-BJT **414** verbunden und der Kollektor des zweiten npn-BJT **416** ist elektrisch mit der Basis des bidirektionalen pnp-BJT **414** verbunden.

**[0038]** Nun unter Bezugnahme auf elektrische Verbindungen zwischen der Auslösevorrichtung **402** und der bidirektionalen SCR **404**, wie in **Fig. 3A** veranschaulicht, ist der erste Vorrichtungsanschluss **t1** der Auslösevorrichtung **402** durch den ersten Widerstand **R1** elektrisch mit dem Emitter des ersten npn-BJT **412** verbunden. Das heißt, der Emitter des ersten npn-BJT **412** und der erste Vorrichtungsanschluss **t1** der Auslösevorrichtung **402** sind gemeinsam elek-

trisch mit dem **T1** zum Empfangen eines transienten elektrischen Signals verbunden. Außerdem ist der zweite Vorrichtungsanschluss **t2** der Auslösevorrichtung **402** durch den dritten Widerstand **R3** elektrisch mit der Basis des bidirektionalen pnp-BJT **414** verbunden, sodass die Auslösevorrichtung **402**, sobald sie aktiviert ist, dazu ausgebildet ist, einen Auslösestrom  $I_{TR}$  an den bidirektionalen SCR **404** zu liefern oder von diesem zu empfangen, um wenigstens teilweise eine Aktivierung des bidirektionalen SCR **404** zu veranlassen, was unten ausführlicher beschrieben ist. Bei der veranschaulichten Ausführungsform ist die Auslösevorrichtung **402** dazu ausgebildet, Elektronen an das Basisgebiet des bidirektionalen pnp-BJT **414** zu liefern. Im Folgenden werden Betriebsprinzipien des bidirektionalen SCR **404** beschrieben, gefolgt von Betriebsprinzipien der Auslösevorrichtung **402** und der elektrischen Kopplung der Auslösevorrichtung **402** mit dem bidirektionalen SCR **404**.

**[0039]** Bei einem veranschaulichten Aspekt kann der bidirektionale SCR **404** als den bidirektionalen pnp-BJT **414** und den ersten npn-BJT **412** aufweisend beschrieben werden, die als ein erster npnp-SCR ausgebildet sind, um als Reaktion auf eine positive Spannung aktiviert zu werden, die bei **T2** relativ zu **T1** empfangen wird (oder eine negative Spannung, die bei **T1** relativ zu **T2** empfangen wird). Der bidirektionale SCR **404** kann als zusätzlich den bidirektionalen pnp-BJT **414** und den zweiten npn-BJT **416** aufweisend beschrieben werden, die als ein zweiter npnp-SCR ausgebildet sind, um als Reaktion auf eine positive Spannung aktiviert zu werden, die bei **T1** relativ zu **T2** empfangen wird (oder eine negative Spannung, die bei **T2** relativ zu **T1** empfangen wird). Auf diese Weise kann der bidirektionale SCR **404** in beiden Spannungspolaritäten zwischen **T1** und **T2** ausgelöst werden.

**[0040]** Der erste npnp-SCR weist Folgendes auf: ein erstes n-Gebiet, das den Emitter des ersten npn-BJT **412** aufweist; ein erstes p-Gebiet, das den Kollektor/Emitter (C/E) des bidirektionalen pnp-BJT **414** aufweist, der gemein mit oder verbunden mit der Basis des ersten npn-BJT **412** sein kann; ein zweites n-Gebiet, das die Basis des bidirektionalen pnp-BJT **414** aufweist, die gemein mit oder verbunden mit dem Kollektor des ersten npn-BJT **412** sein kann; und ein zweites p-Gebiet, aufweist das den Emitter/Kollektor (E/C) des bidirektionalen pnp-BJT **414** sein kann. Wie hier beschrieben, können das erste n-Gebiet, das zweite n-Gebiet und das zweite p-Gebiet manchmal als eine „Kathode“, ein „Gate“ bzw. eine „Anode“ des ersten npnp-SCR bezeichnet werden.

**[0041]** Gleichermaßen weist der zweite npnp-SCR Folgendes auf: ein erstes n-Gebiet, das den Emitter des zweiten npn-BJT **416** aufweist; ein erstes p-Gebiet, das den Emitter/Kollektor (E/C) des bidirektiona-

len npn-BJT **414** aufweist, der gemein mit oder verbunden mit der Basis des zweiten npn-BJT **416** sein kann; ein zweites n-Gebiet, das die Basis des bidirektionalen npn-BJT **414** aufweist, die gemein mit oder verbunden mit dem Kollektor des zweiten npn-BJT **416** sein kann; und ein zweites p-Gebiet, das den Kollektor/Emitter (C/E) des bidirektionalen npn-BJT **414** aufweist. Wie hier beschrieben, können das erste n-Gebiet, das zweite n-Gebiet und das zweite p-Gebiet manchmal als eine „Kathode“, ein „Gate“ bzw. eine „Anode“ des zweiten npnp-SCR bezeichnet werden.

**[0042]** Ohne Einschränkung auf irgendeine Theorie versteht es sich, dass sowohl der erste als auch zweite npnp-SCR auf unterschiedliche Arten aktiviert werden können. Ein Aktivierungsmodus ist mit einer Spannung assoziiert, die zwischen der Kathode und der Anode des ersten oder zweiten npnp-SCR angelegt wird. Dieser Modus wird manchmal als Spannungsauslösung bezeichnet, die stattfindet, wenn eine Durchlassspannung (d. h. eine positive Spannung), die einen Schwellenwert überschreitet, zwischen einer Anode relativ zu der Kathode eines npnp-SCR platziert wird. Unter einer Durchlassspannung unterhalb einer Schwellenspannung des ersten npnp-SCR sind der erste np-Übergang zwischen dem ersten n-Typ-Gebiet und dem ersten p-Typ-Gebiet und der zweite np-Übergang zwischen dem zweiten n-Typ-Gebiet und dem zweiten p-Typ-Gebiet in Durchlassrichtung vorgespannt, während der mittlere pn-Übergang zwischen dem ersten p-Typ-Gebiet und dem zweiten n-Typ-Gebiet anfänglich in Sperrrichtung vorgespannt ist. Anfänglich fließt wenig Strom über den npnp-SCR, weil wenig Ladungsträger den mittleren pn-Übergang durchqueren. Jedoch beginnt der erste npnp-SCR bei einer Durchlassspannung oder darüber, die den ersten Schwellenwert des ersten npnp-SCR überschreitet, aufgrund einer Lawinenmultiplikation von Ladungsträgern in dem mittleren pn-Übergang teilweise zu leiten. Sobald der Durchbruch beginnt, treibt eine Zunahme von Majoritätsladungsträgern in dem ersten p-Typ-Gebiet und dem zweiten n-Typ-Gebiet den mittleren pn-Übergang zu einer Vorspannung in Durchlassrichtung, was zu einem Zustand mit geringer Impedanz führt, bei dem alle Übergänge des ersten npnp-SCR in Durchlassrichtung vorgespannt werden. Eine analoge Bedingung kann den zweiten npnp-SCR in einen Zustand mit niedriger Impedanz auslösen, wenn eine Durchlassspannung, die einen Schwellenwert überschreitet, zwischen einer Anode relativ zu der Kathode des zweiten npnp-SCR platziert wird.

**[0043]** In dem Spannungsauslösemodus können, wenn ein transientes elektrisches Ereignis eine negative Spannung auf **T1** relativ zu **T2** induziert, deren Absolutwert eine erste Auslösespannung ( $V_{TR1}$ ) überschreitet, oder eine negative Spannung auf **T2** relativ zu **T1**, deren Absolutwert eine zweite Auslösespannung ( $V_{TR2}$ ) überschreitet, der erste und zwei-

te npnp-SCR derart mit Schwellen versehen werden, dass der bidirektionale SCR **204** aktiviert wird. Als eine veranschaulichende Beispielsequenz von Ereignissen mit Bezug auf den bidirektionalen SCR **404** aus **Fig. 3A** kann der erste npn-BJT **412** als Reaktion darauf, dass eine negative Spannung auf **T1** relativ zu **T2**  $V_{TR1}$  überschreitet, beginnen zu leiten, was dazu führt, dass sein Kollektorpotential heruntergezogen wird, was wiederum das Basispotential des bidirektionalen npn-BJT **414** herunterzieht. Dies bewirkt wiederum einen Übergangsdurchbruch des mittleren np-Übergangs, was bewirkt, dass der bidirektionale npn-BJT **414** leitet. Wenn der bidirektionale npn-BJT **414** beginnt zu leiten, wird sein Kollektorpotential hochgezogen, was wiederum das Basispotential des zweiten npn-BJT **416** hochzieht. Alternativ dazu kann eine analoge Sequenz von Ereignissen als Reaktion darauf, dass eine negative Spannung auf dem **T2** relativ zu **T1**  $V_{TR2}$  überschreitet, zu einem Auslösen des bipolaren SCR **404** in einen leitenden Zustand führen. Sobald der bidirektionale SCR **404** auf diese Weise ausgelöst wird, tritt er in einen Niederimpedanzmodus ein, in dem eine niedrige Impedanz durch eine Rückkopplungsschleife aufrechterhalten werden kann, die zwischen einem des ersten und zweiten npn-BJT **412**, **416** und dem bidirektionalen npn-BJT **414** gebildet wird, wie oben besprochen ist, selbst, wenn die Absolutspannung über **T1** und **T2** anschließend auf unterhalb von  $V_{TR1}$  und  $V_{TR2}$  abfällt.

**[0044]** Zusätzlich zu dem oben besprochenen Spannungsauslöseaktivierungsmodus kann die Aktivierung des bipolaren SCR **404** durch einen anderen Aktivierungsmodus aktiviert werden, wenn Majoritätsladungsträger an das Gate des ersten und zweiten oben beschriebenen npnp-SCR geliefert werden, was die Basis des bidirektionalen npn-BJT **414** in **Fig. 3A** ist. Dieser zweite Modus, der manchmal als Gate-Auslösen bezeichnet wird, findet statt, wenn Ladungsträger (z. B. Elektronen) in Kombination mit der Durchlassspannung über den ersten oder zweiten npnp-SCR, wie oben beschrieben, an das Gate (z. B. die Basis des bidirektionalen npn-BJT **414** des ersten oder zweiten npnp-SCR) geliefert werden. Die an das Gate gelieferten Ladungsträger der npnp-SCRs beschleunigen den Niederimpedanzzustand durch Liefern der Majoritätsladungsträger an das Gate-Gebiet, so dass die Vorspannung in Durchlassrichtung des mittleren pn-Übergangs beschleunigt werden kann, wodurch dementsprechend der Niederimpedanzzustand beschleunigt wird. Bei dem bidirektionalen SCR **404** aus **Fig. 3A** ist die Auslösevorrichtung **402** dazu ausgebildet die Ladungsträger an das Gate des ersten und zweiten npnp-SCR zu liefern.

**[0045]** Im Betrieb kann die Auslösevorrichtung **402** unter anderen Faktoren dann aktiviert werden, wenn die Spannung über **t1** und **t2** die Schwellen- oder Auslösespannung der Auslösevorrichtung **402** über-

schreitet. Wenn sie aktiviert wird, verursacht die Auslösevorrichtung **402** die Erzeugung des Auslösestroms  $I_{TR}$ , der wenigstens teilweise bewirkt, dass der bidirektionale SCR **404** aktiviert wird. Ausführungsbeispiele der Auslösevorrichtung **402** sind unten mit Bezug auf **Fig. 4A-4C** beschrieben.

**[0046]** **Fig. 3B** ist ein schematischer Graph **300**, der Strom-Spannung(IV)-Kurven einer Auslösevorrichtung und eines Gain-gesteuerten bidirektionalen SCR veranschaulicht, die einzeln erhalten würden, falls die Auslösevorrichtung nicht verbunden wäre, um das Auslösen des bidirektionalen SCR auszulösen. Insbesondere veranschaulicht der Graph **304** schematisch eine quasistatische Antwort des bidirektionalen SCR **404** auf ein Spannungssignal, das zwischen **T1** und **T2** empfangen wird, und der Graph **308** veranschaulicht schematisch eine quasistatische Antwort der Auslösevorrichtung **402** auf ein Spannungssignal, das zwischen **t1** und **t2** empfangen wird. Die x-Achse und die y-Achse repräsentieren die quasistatische Spannung bzw. den entsprechenden Strom. Die IV-Kurven **304** und **308** weisen die jeweiligen Sperrgebiete („AUS“-Gebiete) **304a** bzw. **308a**, die jeweils durch sehr hohe Impedanzen gekennzeichnet sind, zwischen dem Ursprung und der jeweiligen Durchbruchspannung  $V_{BD1}$  und  $V_{BD2}$  auf. Wie in dem Zusammenhang von DC- oder quasistatischen Reaktionen verwendet, die in **Fig. 3B** veranschaulicht sind, kann  $V_{BD1}$  einer DC- oder quasistatischen Durchbruchspannung des SCR entsprechen und kann  $V_{BD2}$  einer DC- oder quasistatischen Durchbruchspannung eines BJT oder einer Lawinendiode der Auslösevorrichtung entsprechen. Wenn die Spannung über **T1** und **T2**  $V_{BD1}$  erreicht und die Spannung über **t1** und **t2**  $V_{BD2}$  erreicht, wird  $dV/dI$  null und findet das Schalten des jeweiligen bidirektionalen SCR **404** und der Auslösevorrichtung **402** statt. Die Sperrgebiete **304a** und **308a** werden von jeweiligen negativen Widerstandsgebieten **304b** und **308b** (auch als „Snap-Back-Gebiet“ bezeichnet) zwischen  $V_{BD1}$  und einer ersten Haltespannung  $V_{H1}$  bzw. zwischen  $V_{BD2}$  und einer zweiten Haltespannung  $V_{H2}$  gefolgt, gefolgt durch die jeweiligen positiven Widerstandsgebiete („EIN“-Gebiete) **304c** und **308c**. Bei den Haltespannungen  $V_{H1}$  und  $V_{H2}$  sind die jeweiligen Haltestromwerte  $I_{H1}$  bzw.  $I_{H2}$ , die einen minimalen Pegel von Strömen repräsentieren können, die den „EIN“-Zustand der jeweiligen Vorrichtungen aufrechterhalten können. Gemäß Ausführungsformen sind der bidirektionale SCR **404** und die Auslösevorrichtung **402** so ausgebildet, dass unter quasistatischen Bedingungen oder als Reaktion auf ein Spannungssignal mit einer relativ langen Dauer (z. B. länger als etwa 100 ns oder länger als etwa 1  $\mu$ s) die  $V_{BD1}$  des bidirektionalen SCR **404** niedriger als die  $V_{BD2}$  der Auslösevorrichtung **402** ist. Zum Beispiel kann der bidirektionale SCR **404** so ausgebildet sein, dass er unter einer quasistatischen Bedingung eine  $V_{BD1}$  zwischen etwa 5 V und etwa 25 V oder zwischene etwa 10 V

und etwa 20 V, beispielsweise etwa 15 V, aufweist, während die Auslösevorrichtung **402** so ausgebildet sein kann, dass sie eine  $V_{BD2}$  zwischen etwa 10 V und etwa 40 V, zwischen etwa 15 V und etwa 35 V oder zwischen etwa 20 V und etwa 30 V, beispielsweise etwa 25 V, aufweist.

**[0047]** **Fig. 3C** ist ein schematischer Graph **320**, der transiente Spannung-Zeit(V-t)-Kurven einer Auslösevorrichtung und eines verstärkungsgesteuerten bidirektionalen halbleitergesteuerten Gleichrichters ähnlich jenen mit Bezug auf **Fig. 3A** beschriebenen einzeln (d. h. ohne miteinander verbunden zu sein) für veranschaulichende Zwecke veranschaulicht. Insbesondere veranschaulicht der Graph **314** schematisch eine Antwort des bidirektionalen SCR **404** auf ein relativ kurz gepulstes (z. B. kürzer als etwa 1  $\mu$ m oder kürzer als etwa 100 ns) Spannungssignal, das zwischen **T1** und **T2** empfangen wird, und der Graph **318** veranschaulicht schematisch eine Antwort der Auslösevorrichtung **402** auf ein ähnliches relativ kurz gepulstes Spannungssignal, das zwischen **t1** und **t2** empfangen wird. Zum Beispiel repräsentieren die x-Achse und die y-Achse des Graphen **320** die Zeit bzw. die Übertragungsleitungspuls(TLP)-Spannung. Die V-t-Kurven **314** und **318** weisen jeweilige Sperrgebiete („AUS“-Gebiete) **314a**, **318a**, die durch sehr hohe Impedanzen gekennzeichnet sind, zwischen dem Ursprung und den jeweiligen Durchbruchzeiten  $t_{TR1}$  und  $t_{TR2}$ , die dem bidirektionalen SCR **404** und der Auslösevorrichtung **402** entsprechen, auf. Bei  $t_{TR1}$  und  $t_{TR2}$  erreicht  $dV/dt$  null und findet das Schalten der Auslösevorrichtung **402** statt, gefolgt davon, dass das Schalten des bidirektionalen SCR **404** auftritt. Die Sperrgebiete **314a** und **318a** werden von jeweiligen negativen Widerstandsgebieten **314b** und **318b** zwischen  $t_{BD1}$  und einer ersten Haltezeit  $t_{H1}$  bzw. zwischen  $t_{BD2}$  und einer zweiten Haltezeit  $t_{H2}$  gefolgt, gefolgt durch die jeweiligen positiven Widerstandsgebiete („EIN“-Gebiete) **314c** und **318c**. Zu den Haltezeiten  $t_{H1}$  und  $t_{H2}$  sind die entsprechenden Stromwerte  $I_{H1}$  und  $I_{H2}$ . Im Gegensatz zu Reaktionen von den jeweiligen Vorrichtungen auf quasistatische Spannungssignale, wie oben in Bezug auf **Fig. 3B** beschrieben, sind der bidirektionale SCR **404** und die Auslösevorrichtung **402** so ausgebildet, dass ein Auslösen oder Einschalten der Spannung  $V_{TR1}$  des bidirektionalen SCR **404** als Reaktion auf eine relativ kurze Dauer, z. B. als Reaktion auf Übertragungsleitungspulse, die zwischen **T1** und **T2** und zwischen **t1** und **t2** empfangen werden, im Wesentlichen höher ist als ein Auslösen oder Einschalten der Spannung  $V_{TR2}$  der Auslösevorrichtung **402**. Zum Beispiel kann der bidirektionale SCR **404** so ausgebildet sein, dass er unter einer TLP-Bedingung eine sehr kurze transiente Spannungsdauer aufweist, z. B. eine Anstiegszeit zwischen etwa 100 ps und etwa 10 ns, beispielsweise 600 ps, aufweist und/oder eine Pulsbreite zwischen etwa 5 ns und etwa 500 ns, beispielsweise 100 ns, eine  $V_{TR1}$  zwischen etwa 50 V und etwa 150 V, zwi-

schen etwa 75 V und etwa 125 V, beispielsweise etwa 100 V, aufweist, wohingegen die Auslösevorrichtung **402** so ausgebildet sein kann, dass sie eine  $V_{TR2}$  aufweist, die bei etwa 10 V bis etwa 50 V, zwischen etwa 20 V und etwa 40 V, beispielsweise etwa 30 V, erheblich niedriger ist.

**[0048]** Wie in **Fig. 3B** und **Fig. 3C** veranschaulicht, kann die Spannung, bei der bidirektionale SCR **404** als auch die Auslösevorrichtung **402** jeweils zu Niederimpedanzzuständen aktiviert werden, von der Dauer, z. B. einer zeitlichen Breite, des Aktivierungssignals abhängen, das durch die jeweilige Vorrichtung empfangen wird. Im Gegensatz dazu kann die Geschwindigkeit, mit der der bidirektionale SCR **404** als auch die Auslösevorrichtung **402** jeweils zu Niederimpedanzzuständen aktiviert werden, von der Spannung des Aktivierungssignals abhängen, das durch die jeweilige Vorrichtung empfangen wird. Ohne Einschränkung auf irgendeine Theorie wird eine solche Reduzierung manchmal als der  $dV/dt$ -Effekt bezeichnet, dessen Betrag unter anderen Faktoren von den Kapazitäten von in Sperrichtung vorgespannten Übergängen abhängen kann. Basierend auf diesem Effekt haben die Erfinder erkannt, dass, wie in **Fig. 3C** veranschaulicht, die bidirektionale Schutzvorrichtung **400** so ausgebildet sein kann, dass die  $V$ - $t$ -Kurven **318** und **314**, die mit einer Aktivierung des bidirektionalen SCR **404** und der Auslösevorrichtung **402** assoziiert sind, angepasst werden können, um z. B. zu überlappen oder separiert zu sein. Bei dem veranschaulichten Beispiel können die Spitzen der  $V$ - $t$ -Kurven des bidirektionalen SCR **404** und der Auslösevorrichtung **402** maßgeschneidert werden, so dass sie innerhalb eines gewissen Zeitfensters liegen, um zum Beispiel einen physischen Schaden an der Auslösevorrichtung **402** zu verhindern, die möglicherweise nicht dazu ausgebildet ist, soviel Strom wie der bidirektionale SCR **404** zu bewältigen. Zum Beispiel kann bei verschiedenen Ausführungsformen für den bidirektionalen SCR **404** und die Auslösevorrichtung **402** mit  $V_{BD1}$ - und  $V_{BD2}$ -Werten, die oben mit Bezug auf **Fig. 3B** beschrieben sind, für transiente Spannungssignale mit z. B. einer Anstiegszeit zwischen etwa 100 ps und etwa 10 ns, beispielsweise 600 ps, und/oder mit einer Pulsbreite zwischen etwa 5 ns und etwa 500 ns, beispielsweise 100 ns, die Differenz ( $t_{BD1}-t_{BD2}$ ) zwischen den Spitzen der  $V$ - $t$ -Kurven **314** und **318** beispielsweise zwischen etwa 200 ps und etwa 10 ns, zwischen etwa 150 ps und etwa 5,5 ns, beispielsweise etwa 3 ns, betragen.

**[0049]** Immer noch unter Bezugnahme auf **Fig. 3B** und **Fig. 3C** versteht es sich, dass unter gewissen Bedingungen ein transientes Spannungssignal die Auslösevorrichtung aktivieren kann, aber möglicherweise den bidirektionalen SCR nicht aktiviert, z. B. wenn die Spannung des transienten Spannungssignals zwischen  $V_{BD1}/V_{TR1}$  und  $V_{BD2}/V_{TR2}$  liegt und/

oder wenn die Dauer des transienten Spannungssignals zwischen  $t_{BD1}$  und  $t_{BD2}$  liegt.

**[0050]** Wieder unter Bezugnahme auf **Fig. 3C** kann es für gewisse Anwendungen wünschenswert sein, eine relativ hohe Haltespannung ( $V_H$ ) des bidirektionalen SCR zu haben, um einen Schaden an einer passiven Komponente zu vermeiden, wie etwa einem Widerstand, der mit der bidirektionalen Schutzvorrichtung in Reihe verbunden sein kann. Wieder unter Bezugnahme auf **Fig. 3A** kann  $V_H$  bei verschiedenen hier beschriebenen Ausführungsformen erhöht werden, indem die Emitterinjektionseffizienz und eine Stromverstärkung des ersten und/oder zweiten npn-BJT **412**, **416** verringert wird, was wiederum erzielt werden kann, indem das Emittergebiet des ersten npn-BJT **412** mit einem ersten Widerstand **R1** verbunden wird und das Emittergebiet des zweiten npn-BJT **412** mit einem zweiten Widerstand **R2** verbunden wird. Bei verschiedenen Ausführungsformen kann durch Maßschneiden von sowohl **R1** als auch **R2** derart, dass sie einen Widerstandswert in einem Bereich zwischen etwa 0,001 Ohm und etwa 20 Ohm, zwischen etwa 0,5 Ohm und etwa 2 Ohm oder zwischen 2 Ohm und etwa 10 Ohm aufweisen,  $V_H$  des bidirektionalen SCR **404** entsprechend derart maßgeschneidert werden, dass sie jeweils einen Wert in dem Bereich zwischen etwa 3V und etwa 15V, zwischen etwa 4 V und etwa 5 V oder zwischen etwa 5 V und etwa 8 V aufweist.

**[0051]** **Fig. 4A-4C** sind schematische Schaltbilder bidirektionaler Schutzvorrichtungen mit unterschiedlichen Auslösevorrichtungen gemäß verschiedenen Ausführungsformen. Ähnlich der oben mit Bezug auf **Fig. 3A** beschriebenen bidirektionalen Schutzvorrichtung **400** weist jede der in **Fig. 4A-4C** veranschaulichten Ausführungsformen einen bidirektionalen SCR **404** und eine Auslösevorrichtung auf, wobei die Auslösevorrichtung und der bidirektionale SCR **404** elektrisch miteinander gekoppelt sind, so dass die Auslösevorrichtung bei einer Aktivierung bewirkt, dass Ladungsträger, z. B. Elektronen, in den bidirektionalen SCR **404** hinein oder aus diesem herausfließen, was wenigstens teilweise bewirkt, dass der bidirektionale SCR **404** aktiviert wird.

**[0052]** **Fig. 4A** veranschaulicht eine bidirektionale Schutzvorrichtung **420**, bei der die Auslösevorrichtung **422** einen pnp-Auslöse-BJT **406** gemäß Ausführungsformen aufweist. Der pnp-Auslöse-BJT **406** weist einen Kollektor auf, der elektrisch mit der Basis des ersten npn-BJT **412** und mit **T1** verbunden ist, und weist ferner eine Basis auf, die durch einen fünften Widerstand **R5** elektrisch mit der Basis des bidirektionalen pnp-BJT **414** des bidirektionalen SCR **404** verbunden ist. Der pnp-Auslöse-BJT **406** weist ferner einen Emitter auf, der durch einen dritten Widerstand **R3** mit den Kollektoren des ersten und zweiten npn-BJT **412**, **416** des bidirektionalen

pnp-SCR **414** verbunden ist. Wenn die bidirektionale Schutzvorrichtung **420** ein negatives transientes elektrisches Signal an **T1** relativ zu **T2** empfängt, wird der pnp-Auslöse-BJT **406** aktiviert, wodurch Elektronen durch die Basis des bidirektionalen pnp-BJT **414** an den bidirektionalen SCR **404** geliefert werden, was wiederum die Aktivierung des bidirektionalen SCR **404** in einen Niederimpedanzzustand beschleunigt, wie oben in Verbindung mit **Fig. 3A** besprochen ist.

**[0053]** **Fig. 4B** veranschaulicht eine bidirektionale Schutzvorrichtung **440**, bei der die Auslösevorrichtung **442** eine Lawinenauslösediode **408** aufweist, gemäß Ausführungsformen. Die Lawinenauslösediode **408** weist eine p-Typ-Anode auf, die elektrisch mit der Basis des ersten npn-BJT **412** und mit **T1** verbunden ist. Die Lawinenauslösediode **408** weist ferner eine n-Typ-Kathode auf, die durch einen dritten Widerstand **R3** elektrisch mit der Basis des bidirektionalen pnp-BJT **414** des bidirektionalen SCR **404** verbunden ist. Wenn die bidirektionale Schutzvorrichtung **440** ein negatives transientes elektrisches Signal an **T1** relativ zu **T2** empfängt, wird die Lawinenauslösediode **408** aktiviert, wodurch Elektronen durch die Basis des bidirektionalen pnp-BJT **414** an den bidirektionalen SCR **404** geliefert werden, was wiederum die Aktivierung des bidirektionalen SCR **404** in einen Niederimpedanzzustand beschleunigt, wie oben in Verbindung mit **Fig. 3A** besprochen ist.

**[0054]** **Fig. 4C** veranschaulicht eine bidirektionale Schutzvorrichtung **460**, bei der die Auslösevorrichtung **462** einen npn-Auslöse-BJT **410** aufweist, gemäß Ausführungsformen. Der npn-Auslöse-BJT **410** weist eine Basis auf, die durch einen sechsten Widerstand **R6** elektrisch mit der Basis des ersten npn-BJT **412** und mit **T1** verbunden ist, und weist ferner einen Emitter auf, der durch einen ersten Widerstand **R1** elektrisch mit dem Emitter des ersten npn-BJT **414** und mit **T1** verbunden ist. Der npn-Auslöse-BJT **406** weist ferner einen Kollektor auf, der durch einen dritten Widerstand **R3** mit der Basis des bidirektionalen pnp-BJT **414** des bidirektionalen SCR **404** verbunden ist. Wenn die bidirektionale Schutzvorrichtung **460** ein negatives transientes elektrisches Signal an **T1** relativ zu **T2** empfängt, wird der npn-Auslöse-BJT **410** aktiviert, wodurch Elektronen durch die Basis des bidirektionalen pnp-BJT **414** an den bidirektionalen SCR **404** geliefert werden, was wiederum die Aktivierung des bidirektionalen SCR **404** in einen Niederimpedanzzustand beschleunigt, wie oben in Verbindung mit **Fig. 3A** besprochen ist.

**[0055]** **Fig. 5** ist ein schematisches Schaltbild, das eine bidirektionale Schutzvorrichtung **500** mit mehreren pnp-Bipolartransistor-basierten Auslösevorrichtungen und eine verstärkungsgesteuerte bidirektionale Auslösevorrichtung gemäß Ausführungsformen veranschaulicht. **Fig. 5** zeigt zusätzlich zu der Schutzvorrichtungsschaltungsanordnung eine umge-

bende Schaltungsanordnung, die bei manchen Ausführungsformen vorhanden sein kann.

**[0056]** Die bidirektionale Schutzvorrichtung **500** weist einen bidirektionalen SCR **504** ähnlich dem bidirektionalen SCR **404** aus **Fig. 4A** auf und weist einen ersten npn-BJT **512**, einen bidirektionalen pnp-BJT **514** und einen zweiten npn-BJT **516** auf. Der bidirektionale SCR **504** ist elektrisch mit **R1**, **R2**, **T1** und **T2** auf eine zu dem bidirektionalen SCR **404** aus **Fig. 4A** analoge Weise verbunden und eine ausführliche Beschreibung ähnlicher elektrischer Verbindungen ist weggelassen.

**[0057]** Auch ähnlich der bidirektionalen Schutzvorrichtung **420** aus **Fig. 4A** weist die bidirektionale Schutzvorrichtung **500** eine Auslösevorrichtung **522**, die einen ersten pnp-Auslöse-BJT **506a** aufweist, gemäß Ausführungsformen auf. Der erste pnp-Auslöse-BJT **506a** ist elektrisch mit dem ersten npn-BJT **512**, **T1**, **R5**, dem bidirektionalen BJT **514** und **R3** auf eine zu der Auslösevorrichtung **422** aus **Fig. 4A** analoge Weise verbunden und eine ausführliche Beschreibung ähnlicher elektrischer Verbindungen ist weggelassen. Zusätzlich zu dem ersten pnp-Auslöse-BJT **506a** weist die bidirektionale Schutzvorrichtung **500** zusätzlich einen zweiten pnp-Auslöse-BJT **506b** auf. Der zweite pnp-Auslöse-BJT **506b** weist einen Kollektor auf, der elektrisch mit der Basis des zweiten npn-BJT **516** und mit **T2** verbunden ist, und weist ferner eine Basis auf, die durch **R5** elektrisch mit der Basis des bidirektionalen pnp-BJT **514** des bidirektionalen SCR **504** verbunden ist. Der Emitter des zweiten pnp-Auslöse-BJT **506b** ist durch einen vierten Widerstand **R4** elektrisch mit dem bidirektionalen SCR **514** verbunden.

**[0058]** Im Betrieb kann, wenn die bidirektionale Schutzvorrichtung **520** ein negatives transientes elektrisches Signal zwischen **T1** und **T2** empfängt, das einen gewissen Wert überschreitet, der erste pnp-Auslöse-BJT **506a** aktiviert werden und Elektronen durch die Basis des bidirektionalen BJT **514** an den bidirektionalen SCR **404** liefern, was die Aktivierung des bidirektionalen SCR **504** in einen Niederimpedanzzustand wenigstens teilweise bewirkt, wie oben in Verbindung mit **Fig. 3A** besprochen ist. Analog dazu kann, wenn die bidirektionale Schutzvorrichtung **520** ein positives transientes elektrisches Signal zwischen **T1** und **T2** empfängt, das einen gewissen Wert überschreitet, der zweite pnp-Auslöse-BJT **506b** aktiviert werden und Elektronen durch die Basis des bidirektionalen pnp-BJT **514** an den bidirektionalen SCR **504** liefern, was die Aktivierung des bidirektionalen SCR **504** in einen Niederimpedanzzustand wenigstens teilweise bewirkt. Während bei manchen Ausführungsformen der erste pnp-BJT **506a**, der zweite pnp-BJT **506b** und der bidirektionale SCR **514** so ausgebildet sein können, dass die Absolutspannungen, die zum Aktivieren der bidirek-

tionalen Schutzvorrichtung **520** ausreichen, ähnlich oder gleich mit entgegengesetzten Polaritäten sein können, können sie bei anderen Ausführungsformen so ausgebildet sein, dass die Absolutspannungen, die zum Aktivieren der bidirektionalen Schutzvorrichtung **520** ausreichen, in Abhängigkeit von der Anwendung, in entgegengesetzten Polaritäten unterschiedlich sein können.

**[0059]** Nun unter Bezugnahme auf die umgebende Schaltungsanordnung der bidirektionalen Schutzvorrichtung **500** kann ein parasitärer Schaltkreis **530** vorhanden sein, der elektrisch mit dem bidirektionalen SCR **504** verbunden ist. Der parasitäre Schaltkreis **530** weist einen ersten parasitären pnp-BJT **534** und einen zweiten parasitären pnp-BJT **538** auf, die jeweils eine gemeinsame Basis aufweisen, die mit der Basis des bidirektionalen pnp-BJT **514** verbunden ist. Außerdem weisen der erste und zweite parasitäre pnp-BJT **534** und **538** Emitter auf, die elektrisch mit dem C/E bzw. E/C des bidirektionalen BJT **514** verbunden sind. Der Kollektor des ersten parasitären pnp-BJT kann mit einem Substratgebiet **554**, z. B. einer Schutzringstruktur, die in dem Substrat gebildet ist, verbunden sein. Die Basen des ersten und zweiten parasitären pnp-BJT **534** und **538** sind gemeinsam mit einem ersten parasitären npn-BJT **542** verbunden, dessen Emitter mit z. B. einem Isolationsgebiet **550**, wie etwa einer nativen vergrabenen Schicht oder einer tiefen n-Wanne, verbunden sein kann.

**[0060]** Es wird offensichtlich, dass bei dem parasitären Schaltkreis **530** der Kollektor des ersten parasitären npn-BJT **542** und die Basis des zweiten parasitären pnp-BJT **538** miteinander verbunden sein werden und der Kollektor des zweiten parasitären pnp-BJT **538** und die Basis des ersten parasitären npn-BJT **542** miteinander verbunden sind, so dass der erste parasitäre npn-BJT **542** und der zweite parasitäre pnp-BJT **538** einen kreuzgekoppelten parasitären pnpn-SCR **546** bilden. Der parasitäre SCR **546** kann aus Strukturen, wie etwa Isolationsstrukturen (z. B. eine nativ dotierte Einbettungsschicht oder eine tiefe n-Wanne) und Substratgebieten entstehen und unerwünscht sein. Entsprechend können die Strukturen, die den parasitären pnpn-SCR **546** entstehen lassen, so ausgebildet sein, dass sie im Betrieb nicht aktiviert werden. Immer noch unter Bezugnahme auf **Fig. 5** kann die bidirektionale Schutzvorrichtung **500** eine Back-Gate-Diode **548** aufweisen, die elektrisch mit dem Substratgebiet **554** und mit **T1** verbunden sein kann.

**[0061]** **Fig. 6A** und **Fig. 6B** sind eine Querschnittsansicht bzw. eine Draufsicht einer bidirektionalen Schutzvorrichtung **600** mit einer integrierten Auslösevorrichtung gemäß manchen Ausführungsformen. Die veranschaulichte Ausführungsform ist eine ringförmige Vorrichtung, bei der verschiedene Gebiete, die in dem Substrat gebildet sind, ein Mittelgebiet der

ringförmigen Vorrichtung umgeben, wobei **Fig. 6A** einen Querschnitt entlang einer Hälfte der ringförmigen Vorrichtung zeigt.

**[0062]** In **Fig. 6A** werden verschiedene strukturelle Gebiete mit einem äquivalenten Schaltbild überlagert, um dabei zu helfen, die verschiedenen strukturellen Merkmale besser zu verstehen, da sie in Zusammenhang mit dem Betrieb der bidirektionalen Schutzvorrichtung **600** stehen. Im Folgenden sind die verschiedenen strukturellen Merkmale zuerst beschrieben, gefolgt von dem entsprechenden äquivalenten Schaltbild. Die bidirektionale Schutzvorrichtung **600** weist ein Halbleitersubstrat **602**, z. B. ein p-Typ-Halbleitersubstrat, mit einer darin gebildeten n-Typ-Wanne (NW) **618** auf, die zwischen einer ersten p-Typ-Wanne (PW) **608** und einer zweiten p-Typ-Wanne (PW) **610** dazwischenliegt. Die erste PW **608** weist ein darin gebildetes erstes stark dotiertes n-Typ ( $n^+$ )-Gebiet **620a** auf, das elektrisch mit einem ersten Anschluss **T1** verbunden ist, und die zweite PW **610** weist ein darin gebildetes zweites stark dotiertes n-Typ( $n^+$ )-Gebiet **620b** auf, das elektrisch mit einem zweiten Anschluss (**T2**) verbunden ist, so dass ein bidirektionaler halbleitergesteuerter Gleichrichter (SCR) gebildet wird, wobei der bidirektionale SCR das erste  $n^+$ -Gebiet als Kathode/Anode (K/A) dienend aufweist und das zweite  $n^+$ -Gebiet als eine Anode/Kathode (A/K) dient.

**[0063]** Wie hier und durch die Beschreibung hinweg beschrieben, versteht es sich, dass das Halbleitersubstrat **602** in einer Vielzahl von Arten implementiert werden kann, einschließlich unter anderem eines dotierten Halbleitersubstrats oder eines Silicium-auf-Isolator(SOI)-Substrats einschließlich einer Silicium-Isolator-Silicium-Struktur, bei der die verschiedenen oben beschriebenen Strukturen von einem Stützsubstrat unter Verwendung einer Isolatorschicht, wie einer vergrabenen  $\text{SiO}_2$ -Schicht, isoliert sind. Außerdem versteht es sich, dass die verschiedenen oben beschriebenen Strukturen wenigstens teilweise in einer epitaktischen Schicht gebildet werden können, die bei oder nahe einem Oberflächengebiet gebildet ist.

**[0064]** Bei der veranschaulichten Ausführungsform ist die erste PW **608** lateral von der ersten NW **618** durch einen Spalt separiert, während die zweite PW **610** die erste NW **618** kontaktiert, so dass sie einen Übergang dazwischen bilden. Jedoch sind andere Ausführungsformen möglich, wo z. B. die erste PW **608** und die erste NW **618** einander kontaktieren können, so dass sie einen Übergang dazwischen bilden, und/oder wo die zweite PW **610** und die erste NW **618** in Abhängigkeit von den gewünschten Vorrichtungscharakteristiken separiert sind, wie unten ausführlicher beschrieben ist.

**[0065]** Wie hier verwendet, verweist ein Übergang oder Übergangsgebiet auf ein Gebiet, das gebildet wird, wenn zwei Halbleitermaterialien unterschiedlicher Typen eine Grenzfläche ausbilden, und kann Gebiete nahe der Grenzfläche einschließen, wo die elektronischen Bänder (d. h. Leitungs- und Valenzband) aufgrund eingebauter elektrischer Felder gebogen sind. Dementsprechend kann die Abmessung eines Übergangsgebiets von verschiedenen Faktoren abhängen wie etwa den Dotierungskonzentrationen und den Dotierungsprofilen der unterschiedlichen Typen von Halbleitermaterialien, die den Übergang bilden.

**[0066]** Immer noch unter Bezugnahme auf **Fig. 6** weist die bidirektionale Schutzvorrichtung **600** eine tiefe n-Wanne (DNW) **604** auf, die unterhalb, z. B. direkt unterhalb oder in Kontakt mit unteren Enden der ersten NW **618** und/oder der ersten PW **608** und/oder der zweiten PW **610**, angeordnet ist. Bei manchen Ausführungsformen bildet die DNW **604** Übergangsgebiete mit der ersten und zweiten PW **608**, **610** vertikal in der y-Richtung, während eine vertikale Erweiterung eines n-Typ-Gebiets von der ersten NW **618** gebildet wird. Bei Ausführungsformen, bei denen die erste PW **608** und die erste NW **618** lateral voneinander separiert sind und/oder bei denen die zweite PW **610** und die erste NW **618** lateral voneinander separiert sind, kann die DNW **604** den jeweiligen Spalt füllen, der zwischen getrennten Gebieten gebildet wird. Zum Beispiel sind in **Fig. 6A** die erste PW **608** und die erste NW **618** durch die DNW **604** separiert, so dass die DNW **604** auch ein laterales Erweiterungsgebiet von der ersten NW **618** bilden kann.

**[0067]** Immer noch unter Bezugnahme auf **Fig. 6A** sind das erste n<sup>+</sup>-Gebiet **620a**, die erste PW **608**, die erste NW **618**, die zweite PW **610** und das zweite n<sup>+</sup>-Gebiet **620b** elektrisch verbunden, so dass ein bidirektionaler npnpn-SCR gebildet wird. Der bidirektionale SCR weist einen ersten bidirektionalen pnp-BJT **614**, einen ersten npn-BJT **612** und einen zweiten npn-BJT **616** auf, die elektrisch auf eine zu dem bidirektionalen pnp-BJT **514**, dem ersten npn-BJT **512** und dem zweiten npn-BJT **516**, die oben mit Bezug auf **Fig. 5** beschrieben sind, analoge Weise verbunden sind.

**[0068]** Immer noch unter Bezugnahme auf **Fig. 6A** weist die bidirektionale Schutzvorrichtung **600** ferner eine zweite n-Typ-Wanne (NW) **624** angrenzend an die erste PW **608** auf. Die zweite NW **624** weist ein darin gebildetes erstes stark dotiertes p-Typ(p<sup>+</sup>)-Gebiet **628a** auf. Das erste p<sup>+</sup>-Gebiet **628a**, die zweite NW **624** und die erste PW **608** sind als ein Emitter, eine Basis und ein Kollektor eines ersten pnp-Auslöse-BJT **606a** ausgebildet. Der erste PW **608** weist ein darin gebildetes zweites stark dotiertes p<sup>+</sup>-Gebiet **628b** auf, durch das der Kollektor des ersten pnp-Auslöse-BJT **606a** elektrisch mit **T1** verbunden

ist, so dass der Kollektor des ersten pnp-Auslöse-BJT **606a** gemeinsam elektrisch mit **T1** verbunden ist, wobei das erste n<sup>+</sup>-Gebiet **620a** als die Kathode/Anode (K/A) des bidirektionalen SCR der bidirektionalen Schutzvorrichtung **600** ausgebildet ist.

**[0069]** Die bidirektionale Schutzvorrichtung **600** ist so ausgebildet, dass die zweite PW **610** zwischen der ersten NW **618** auf einer ersten Seite und der DNW **604** auf einer zweiten Seite dazwischenliegt und sich mit ihnen in Kontakt befindet. Die DNW **604** weist ein darin gebildetes drittes stark dotiertes p-Typ(p<sup>+</sup>)-Gebiet **628c** auf. Das dritte p<sup>+</sup>-Gebiet **628c**, die DNW **604** und die zweite PW **618** sind als ein Emitter, eine Basis und ein Kollektor eines zweiten pnp-Auslöse-BJT **606b** ausgebildet. Der zweite PW **610** weist ein darin gebildetes viertes stark dotiertes p<sup>+</sup>-Gebiet **628d** auf, durch das der Kollektor des zweiten pnp-Auslöse-BJT **606b** elektrisch mit **T2** verbunden ist, so dass der Kollektor des zweiten pnp-Auslöse-BJT **606b** gemeinsam elektrisch mit **T2** verbunden ist, wobei das zweite n<sup>+</sup>-Gebiet **620b** als die Anode/Kathode (A/K) des bidirektionalen SCR der bidirektionalen Schutzvorrichtung **600** ausgebildet ist.

**[0070]** Bei der bidirektionalen Schutzvorrichtung **600** ist, während das zweite p<sup>+</sup>-Gebiet **628b** direkt elektrisch mit **T1** verbunden ist, das erste n<sup>+</sup>-Gebiet **620a** durch einen ersten Widerstand **R1** elektrisch mit **T1** verbunden. Gleichermaßen ist, während das vierte p<sup>+</sup>-Gebiet **628d** direkt elektrisch mit **T2** verbunden ist, das zweite n<sup>+</sup>-Gebiet **620b** durch einen zweiten Widerstand **R2** elektrisch mit **T2** verbunden. **R1** und **R2** weisen derartige Widerstandswerte auf, dass bei Verbindung mit den Emittern des ersten npn-BJT **612** bzw. des zweiten npn-BJT **616** die Emitterinjektionseffizienz bzw. entsprechende Verstärkungen der jeweiligen BJTs steuerbar reduziert werden können, wodurch die Haltespannungen des bidirektionalen npnpn-SCR erhöht werden, wie oben mit Bezug auf **Fig. 3C** beschrieben ist. **R1** und **R2** sind oberhalb der bidirektionalen Schutzvorrichtung **600** durch Strukturieren einer oder mehrerer Metallisierungsebenen, z. B. einer ersten (**M1**) bis einer n-ten (**Mn**) Metallisierungsebene, wobei n 2 bis 10 sein kann, gebildet. Sowohl **R1** als auch **R2** können aus strukturierten Polysilicium- und/oder strukturierten Dünnschichten gebildet werden.

**[0071]** Der erste pnp-Auslöse-BJT **606a** und der zweite pnp-Auslöse-BJT **606b** sind ferner so ausgebildet, dass die jeweiligen Emitter elektrisch mit der ersten NW **618** durch eine oder mehrere Metallisierungsebenen verbunden sind, die oberhalb der bidirektionalen Schutzvorrichtung **600** gebildet sind. Bei der veranschaulichten Ausführungsform ist das erste p<sup>+</sup>-Gebiet **628a** durch einen dritten Widerstand **R3**, der bei einer oder mehreren der Metallisierungsebenen **652** gebildet ist, elektrisch mit einem dritten stark dotierten (n<sup>+</sup>-) Gebiet **620c** verbunden, das in

der ersten NW **618** gebildet ist, die in einem zentralen Gebiet des bidirektionalen npnpn-SCR angeordnet sein kann. Analog dazu ist das dritte p<sup>+</sup>-Gebiet **628c** durch einen vierten Widerstand **R4**, der bei einer oder mehreren der Metallisierungsebenen **652** gebildet ist, elektrisch mit dem dritten stark dotierten (n<sup>-</sup>) Gebiet **620c** verbunden, das in der ersten NW **618** gebildet ist. Bei verschiedenen Ausführungsformen weisen **R3** und **R4** jeweils einen Widerstandswert zwischen etwa 0,01 Ohm und etwa 2000 Ohm, beispielsweise etwa 0,05 Ohm, auf. Sowohl **R3** als auch **R4** können aus strukturierten Polysilicium- und/oder strukturierten Dünnschichtmetallschichten gebildet werden.

[0072] Dementsprechend weist die bidirektionale Schutzvorrichtung **600** Folgendes auf: einen bidirektionalen npnpn-SCR einschließlich des ersten n<sup>+</sup>-Gebiets **620a**, der ersten PW **608**, der ersten NW **618**, der zweiten PW **610** und des zweiten n<sup>+</sup>-Gebiets **620b**; eine erste Auslösevorrichtung, die den ersten pnp-Auslöse-BJT **606a** einschließlich des ersten p<sup>+</sup>-Gebiets **628a**, der zweiten NW **624** und der ersten PW **608** aufweist; und eine zweite Auslösevorrichtung, die den zweiten pnp-Auslöse-BJT **606b** einschließlich des dritten p<sup>+</sup>-Gebiets **628c**, der DNW **604** und der zweiten PW **610** aufweist. Indem die Emitter des ersten und zweiten Auslöse-BJT **606a** und **606b** durch die erste NW **618** elektrisch mit dem bidirektionalen npnpn-SCR verbunden sind, um Elektronen bei einer Aktivierung an diesen zu liefern, arbeiten der bidirektionale npnpn-SCR und die erste und zweite Auslösevorrichtung analog zu dem bidirektionalen SCR **504** und der Auslösevorrichtung **522**, die oben mit Bezug auf **Fig. 5** beschrieben sind.

[0073] Nun unter Bezugnahme auf **Fig. 6B** in Verbindung mit **Fig. 6A** ist die ringförmige Konfiguration der bidirektionalen Schutzvorrichtung **600** beschrieben. Die bidirektionale Schutzvorrichtung **600** weist eine dritte n-Typ-Wanne (NW) **640** auf, die in dem Zentrum der ringförmigen Konfiguration angeordnet ist, und weist ein darin gebildetes sechstes stark dotiertes n-Typ(n<sup>+</sup>)-Gebiet **620f** auf. Die dritte NW **640** ist sukzessiv durch die zweite PW **610**, die erste NW **618**, die erste PW **608**, die zweite NW **624**, eine vierte n-Typ-Wanne (NW) **644** mit einem darin gebildeten vierten stark dotierten n-Typ(n<sup>+</sup>)-Gebiet **620d** und eine dritte p-Typ-Wanne (PW) **648** mit einem darin gebildeten siebten stark dotierten p-Typ(p<sup>+</sup>)-Gebiet **628g** umgeben. Das siebte p<sup>+</sup>-Gebiet **628g** kann elektrisch mit dem Substrat der Hauptschaltungsanordnung bei **V<sub>SUB</sub>**, die auf Masse liegen kann, verbunden, z. B. Kelvinverbunden, sein.

[0074] Es versteht sich, dass die dritte NW **640**, die DNW **604** und die vierte NW **644** ein Isolationsgebiet vom Bechertyp bilden, das die erste PW **608**, die zweite PW **610**, die erste NW **618** und die zweite NW **624** lateral und vertikal umschließt. Bei manchen

Ausführungsformen kann die Isolation vom Bechertyp elektrisch potentialfrei sein.

[0075] Wie oben besprochen, sind der erste und zweite erste pnp-Auslöse-BJT **606a** und **606b** durch **R3** und **R4**, die bei einer oder mehreren der Metallisierungsebenen **652** gebildet sind, elektrisch mit der ersten NW **618** verbunden. Die Metallisierungsprozessarchitektur der bidirektionalen Schutzvorrichtung **600** weist mehrere Metallisierungsebenen auf, z. B. eine erste (**M1**) bis eine n-te (**Mn**) Metallisierungsebene, wobei n 2 bis 10 sein kann. Wie hier verwendet, weist eine Metallisierungsebene sich lateral erstreckende leitfähige Strukturen auf, die aus leitfähigen Materialien gebildet sind, z. B. Cu, Al oder W, wie etwa Metallleitungen, die unter Verwendung einer Lithographiemaske strukturiert werden können, und weist auch sich vertikal erstreckende leitfähige Strukturen auf, wie etwa Vias oder Kontakte, die aus leitfähigen Materialien gebildet sind, wie etwa z. B. Cu, Al oder W, die direkt unterhalb der sich lateral erstreckenden leitfähigen Strukturen liegen. Dementsprechend weist die erste Metallisierungsebene **404** die Metallleitungen der untersten Ebene oberhalb des Substrats **602** und Vias oder Kontakte, die zu einem n<sup>+</sup>- oder einem p<sup>+</sup>-Gebiet gefertigt sind (z. B. selbstausgerichtete Silicid- oder „salicided“ Kontakte), innerhalb einer PW oder einer NW auf. Gleichermaßen weist **M2** eine nächsthöhere Ebene von Metallleitungen oberhalb von **M1** und Vias oder Kontakte, die zu **M1** gefertigt sind, auf. **M3** bis **Mn** sind hier ähnlich definiert, sodass sie sowohl laterale Leitungen als auch vertikale Verbindungen unter ihnen aufweisen.

[0076] Bei der Veranschaulichung von oben nach unten aus **Fig. 6B** sind die eine oder die mehreren Metallisierungsebenen **652** aus **Fig. 6A** aus mehreren Metallstreifen **652a/b** gebildet, die sich radial erstrecken und durch das erste p<sup>+</sup>-Gebiet **628a** elektrisch mit der zweiten NW **624**, durch das dritte n<sup>+</sup>-Gebiet **620c** mit der ersten NW **618** und durch das dritte p<sup>+</sup>-Gebiet **628c** mit der DNW **604** verbunden sind, wie in **Fig. 6A/6B** veranschaulicht ist. Bei manchen Ausführungsformen sind die Metallstreifen **652a/b** vorteilhafterweise bei Metallebenen unterhalb von **M3** gebildet, d. h.... bei der Metallisierungsebene **M1** und/oder **M2**, um die resultierende Nettokapazität zu minimieren, während die oben beschriebenen Widerstandswerte von **R3** und **R4** anvisiert werden, sodass eine RC-Verzögerung minimiert wird, um die Auslöseträger an die erste NW **608** zu liefern. Zum Beispiel können die Abmessungen und die Beabstandung zwischen angrenzenden Metallstreifen **652a/652b** so gestaltet sein, dass eine Nettokapazität niedriger als etwa 100 fF, niedriger als etwa 50 fF oder niedriger als etwa 30 fF ist. Außerdem versteht es sich, dass die Anzahl der Metallstreifen **652a/652b** optimiert werden kann. Zum Beispiel sind, während **28** (7 pro Seite) Metallstreifen **652a** und **4** Metallstreifen **652b** in **Fig. 6B** veranschaulicht sind, unter-

schiedliche Anordnungen möglich, wobei es eine größere oder geringere Anzahl der Metallstreifen **652a/b** gibt, sodass der Nettowiderstandswert von **R3** und **R4** jeweils zwischen etwa 0,001 Ohm und etwa 20 Ohm, beispielsweise 0,05 Ohm, liegt.

**[0077]** Unter weiterer Bezugnahme auf **Fig. 6A** weist die bidirektionale Schutzvorrichtung **600** mehrere elektrisch potentialfreie Metallschichten auf, die sich lateral in der x-Richtung erstrecken und manche der angrenzenden stark dotierten ( $n^+$ - und  $p^+$ -) Gebiete separieren: eine erste elektrisch potentialfreie Metallschicht **632a**, die auf einer Oberfläche der ersten PW **608** und zwischen dem zweiten  $p^+$ -Gebiet **628b** und dem ersten  $n^+$ -Gebiet **620a** gebildet ist; eine zweite elektrisch potentialfreie Metallschicht **632b**, die auf der Oberfläche der ersten PW **608** und zwischen dem ersten  $n^+$ -Gebiet **620a** und einem fünften  $p^+$ -Gebiet **628e** gebildet ist; eine dritte elektrisch potentialfreie Metallschicht **632c**, die auf einer Oberfläche eines Übergangsbereichs zwischen der ersten NW **618** und der DNW **604** und zwischen dem fünften  $p^+$ -Gebiet **628e** und dem dritten  $n^+$ -Gebiet **620c** gebildet ist; eine vierte elektrisch potentialfreie Metallschicht **632d**, die auf der Oberfläche der ersten NW **618** und zwischen dem dritten  $n^+$ -Gebiet **620c** und einem sechsten  $p^+$ -Gebiet **628f** gebildet ist; eine fünfte elektrisch potentialfreie Metallschicht **632e**, die auf einer Oberfläche der zweiten PW **610** und zwischen dem sechsten  $p^+$ -Gebiet **628f** und dem zweiten  $n^+$ -Gebiet **620b** gebildet ist; und eine sechste elektrisch potentialfreie Metallschicht **632f**, die auf der Oberfläche der zweiten PW **610** und zwischen dem zweiten  $n^+$ -Gebiet **620b** und dem vierten  $p^+$ -Gebiet **628d** gebildet ist. Die elektrisch potentialfreien Metallschichten sind elektrisch potentialfrei, weil sie nicht elektrisch mit anderen Strukturen verbunden sind und durch eine dünne dielektrische Schicht von den Oberflächen separiert sind, auf denen sie gebildet sind. Ohne Einschränkung auf irgendeine Theorie versteht es sich, dass die potentialfreien Metallschichten eine Platzierung von entgegengesetzt dotierten angrenzenden  $n^+$ - und  $p^+$ -Gebieten bei relativ naher lateraler Nähe für eine hohe Stromfähigkeit (z. B.  $>1 \times 10^5$  A/cm<sup>2</sup>) der Vorrichtungen, die durch die  $n^+$ - und/oder  $p^+$ -Gebiete gebildet werden, mit verbesserten Durchbruchcharakteristiken dazwischen, z. B. aufgrund von Band-zu-Band-Tunneln und/oder Durchschlagseffekten, ermöglichen können. Dies ermöglicht wiederum eine Optimierung verschiedener BJTs der bidirektionalen SCR-Vorrichtung für relativ hohen Strom und Hochgeschwindigkeitsfähigkeit, z. B. durch Ermöglichen kürzerer Basisgebiete des ersten npn-BJT **612**, des zweiten npn-BJT **616** und des bidirektionalen pnp-BJT **614** für optimale Transistoreffizienz.

**[0078]** Vorteilhafterweise können die erste bis sechste elektrisch potentialfreie Metallschicht **632a** bis **632f** gleichzeitig während und unter Verwen-

dung von Verarbeitungsschritten gebildet werden, die Gate-Stapel von n-FETs (nicht gezeigt) oder p-FETs (nicht gezeigt) anderswo in der Einrichtung (z. B. ein Kernschaltkreis) bilden, die elektrisch mit der bidirektionalen Schutzvorrichtung **600** verbunden sind. Entsprechend werden die potentialfreien Metallschichten bei verschiedenen hier beschriebenen Ausführungsformen auf darunterliegenden dünnen Dielektrika (z. B. SiO<sub>2</sub>, SiON oder High-K-Dielektrika) gebildet, die abgeschieden oder gewachsen sind, um Gate-Dielektrika (nicht gezeigt) der n-FETs und/oder p-FETs anderswo in dem integrierten Schaltkreis zu bilden. Während dies in den Figuren der Klarheit halber nicht dargestellt ist, kontaktieren dementsprechend die potentialfreien Metallschichten die darunterliegenden Oberflächen der Wannen, auf denen sie gebildet sind, nicht, sondern sind vertikal durch ein dünnes Dielektrikum dazwischenliegend auf. Obwohl dies ebenfalls der Klarheit halber nicht veranschaulicht ist, können außerdem Seitenwandabstandshalter (z. B. SiN-Abstandshalter) auf Seitenwänden der potentialfreien Metallschichten gebildet werden, um die potentialfreien Metallschichten von dem Kontaktieren der angrenzenden  $n^+$ - und  $p^+$ -Gebiete zu isolieren. Die darunterliegende Gate-Dielektrikum-Schicht und Seitenwandabstandshalter verhindern, dass sich ein direkter elektrischer Kurzschluss zwischen angrenzenden  $n^+$ - und  $p^+$ -Gebieten ausbildet. Die dünnen dielektrischen Schichten verhindern eine Silicidbildung zwischen den potentialfreien Metallschichten und den darunterliegenden Wannenoberflächen und dienen dazu, die potentialfreien Metallschichten elektrisch zu isolieren, die elektrisch mit keiner anderen Struktur verbunden sind.

**[0079]** Wenn die Metallschichten mit den Gates der n-FETs gebildet werden, weist Material, das verwendet werden kann, n-dotierte Halbleiter, wie etwa n-dotiertes polykristallines Silicium oder ein geeignetes „n-Typ“-Metall mit einer Austrittsarbeit  $\Phi_{m,N}$  zwischen etwa 4,1 eV und etwa 4,65 eV, zwischen etwa 4,1 eV und etwa 4,4 eV oder zwischen etwa 4,4 eV und etwa 4,65 eV, auf. Wenn die Metallschichten mit Gates der p-FETs gebildet werden, weisen Materialien, die verwendet werden können, p-dotierte Halbleiter, wie etwa p-dotiertes polykristallines Silicium oder ein geeignetes „p-Typ“-Metall mit einer Austrittsarbeit  $\Phi_{m,P}$  zwischen etwa 4,65 eV und etwa 5,2 eV, zwischen etwa 4,65 eV und etwa 4,9 eV oder zwischen etwa 4,9 eV und etwa 5,2 eV auf.

**[0080]** Bei verschiedenen hier offenbarten Ausführungsformen schließen geeignete Metalle für die elektrisch potentialfreien Metallschichten **632a-632f** in **Fig. 6A** z. B. Aluminium (Al), Wolfram (W), Titan (Ti), Tantal (Ta), Molybdän (Mo), Rubidium (Ru), TiN, TaN, TaCN und TaSi<sub>x</sub>N<sub>y</sub> ein, um nur einige wenige zu nennen.

**[0081]** Es versteht sich, dass die lateralen Abmessungen von jeder der elektrisch potentialfreien Metallschichten **632a-632f** weniger als etwa  $1\ \mu\text{m}$ , weniger als etwa  $0,5\ \mu\text{m}$ , weniger als etwa  $0,2\ \mu\text{m}$ , zwischen etwa  $0,1\ \mu\text{m}$  und etwa  $0,3\ \mu\text{m}$  oder zwischen etwa  $0,06\ \mu\text{m}$  und etwa  $0,2\ \mu\text{m}$ , beispielsweise  $0,16\ \mu\text{m}$ , betragen.

**[0082]** Manche andere angrenzende stark dotierte ( $p^+$ - und  $n^+$ -) Gebiete der bidirektionalen Schutzvorrichtung **600**, die nicht durch eine elektrisch potentialfreie Metallschicht separiert sind, können durch eine der ersten bis achten dielektrischen Isolation **636a-636h** separiert sein, die flache Grabenisolationsgebiete sein können. Ähnlich den potentialfreien Metallschichten können dielektrische Isolationen eine Platzierung von entgegengesetzt dotierten angrenzenden  $n^+$ - und  $p^+$ -Gebieten bei relativ naher lateraler Nähe für eine hohe Stromfähigkeit ermöglichen. Im Vergleich zu den potentialfreien Metallschichten können dielektrische Isolationsgebiete jedoch eine Optimierung verschiedener BJTs der bidirektionalen SCR-Vorrichtung für eine relativ niedrigere Geschwindigkeit erlauben, z. B. durch Ermöglichen einer längeren Pfadlänge zwischen den angrenzenden  $n^+$ - und  $p^+$ -Gebieten, z. B. einer längeren Pfadlänge der Basisgebiete mancher BJTs.

**[0083]** Noch einige andere angrenzende stark dotierte ( $n^+$ -,  $p^+$ -) Gebiete sind durch eine elektrisch potentialfreie Metallschicht zusätzlich zu einer dielektrischen Isolation separiert, um eine zusätzliche Durchbruchspannung zwischen angrenzenden Übergängen auf Kosten eines längeren Ladungsträgerdriftpfades bereitzustellen. Zum Beispiel sind das fünfte  $p^+$ -Gebiet **628e** und das dritte  $n^+$ -Gebiet **620c** durch die dritte elektrisch potentialfreie Metallschicht **632c** und eine fünfte dielektrische Isolation **636e** separiert. Bei der veranschaulichten Implementierung erhöht die fünfte dielektrische Isolation **636e** die Durchbruchspannung des Übergangs zwischen der DNW **604** und der ersten NW, während die effektive Basislänge des bidirektionalen pnp-BJT **614** erhöht wird, sodass die Auslösespannung des bidirektionalen SCR unter einem positiv vorgespannten **T1** relativ zu **T2** im Austausch für eine langsamere Geschwindigkeit erhöht werden kann.

**[0084]** Verschiedene hier offenbarte  $p^+$ -Gebiete und  $n^+$ -Gebiete können eine Spitzendotierungskonzentration aufweisen, die etwa  $1 \times 10^{19}\ \text{cm}^{-3}$  überschreitet, etwa  $1 \times 10^{20}\ \text{cm}^{-3}$  überschreitet oder in dem Bereich zwischen etwa  $1 \times 10^{20}\ \text{cm}^{-3}$  und etwa  $8 \times 10^{20}\ \text{cm}^{-3}$ , zum Beispiel etwa  $2 \times 10^{20}\ \text{cm}^{-3}$ , liegt. Außerdem weisen verschiedene PWs und NWs und die DNW eine Spitzendotierungskonzentration in dem Bereich von etwa  $1,5 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-3}$  bis etwa  $7,5 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-3}$ , zum Beispiel etwa  $5,0 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-3}$ , auf.

**[0085]** Durch Verwenden einer Kombination aus dielektrischen Isolationsgebieten, potentialfreien Metallschichten und optimierten lateralen Abmessungen zwischen verschiedenen Strukturen können die Auslösevorrichtungen und der bidirektionale SCR der bidirektionalen Schutzvorrichtung **600** dazu optimiert werden, wie oben mit Bezug auf **Fig. 4A** und **Fig. 5** beschrieben zu arbeiten. Zum Beispiel weist die vierte dielektrische Isolation **636d** eine laterale Länge  $d_1$  in der x- Richtung auf und weist die sechste dielektrische Isolation **636f** eine laterale Länge  $d_2$  in der x- Richtung auf, deren Abmessungen maßgeschneidert werden können, um den ersten und zweiten pnp-Auslöse-BJT **606a** und **606b** so zu optimieren, dass sie im Vergleich zu der lateralen Abmessung  $d_3$  des bidirektionalen npnpn-SCR, die der Abstand zwischen dem ersten  $n^+$ -Gebiet **620a** und dem zweiten  $n^+$ -Gebiet **620b** ist, relativ kürzer sind, sodass die pnp-Auslöse-BJTs **606a** und **606b** dazu ausgebildet werden, vor der Aktivierung des bidirektionalen SCR aktiviert zu werden, wie oben mit Bezug auf **Fig. 4A** und **Fig. 5** beschrieben ist. Bei verschiedenen Ausführungsformen betragen  $d_1$  und  $d_2$  jeweils zwischen etwa  $1\ \mu\text{m}$  und etwa  $5\ \mu\text{m}$ , zwischen  $2\ \mu\text{m}$  und  $4\ \mu\text{m}$ , beispielsweise etwa  $3\ \mu\text{m}$ , während  $d_3$  zwischen etwa  $10\ \mu\text{m}$  und etwa  $30\ \mu\text{m}$ , zwischen etwa  $15\ \mu\text{m}$  und etwa  $25\ \mu\text{m}$ , beispielsweise etwa  $20\ \mu\text{m}$ , beträgt. Bei manchen Ausführungsformen betragen die Verhältnisse  $d_3/d_1$  und  $d_3/d_2$  jeweils zwischen etwa 3:1 und etwa 7:1, zwischen etwa 4:1 und etwa 6:1, beispielsweise etwa 5:1.

**[0086]** **Fig. 7A** und **Fig. 7B** sind ein äquivalentes Schaltbild **700A** bzw. eine Querschnittsansicht einer bidirektionalen Schutzvorrichtung **700** gemäß Ausführungsformen. Bei manchen Ausführungsformen kann die bidirektionale Schutzvorrichtung **700** eine ringförmige Vorrichtung sein, bei der verschiedene Gebiete, die in dem Substrat gebildet sind, ein zentrales Gebiet der ringförmigen Vorrichtung umgeben, ähnlich der ringförmigen Konfiguration, die oben mit Bezug auf **Fig. 6B** beschrieben ist, sodass die Querschnittsansicht aus **Fig. 7B** einen Querschnitt entlang einer Hälfte der ringförmigen Vorrichtung repräsentiert. In **Fig. 7B** werden verschiedene strukturelle Gebiete mit einem äquivalenten Schaltbild ähnlich dem äquivalenten Schaltbild **700A** aus **Fig. 7A** überlagert, um dabei zu helfen, die verschiedenen strukturellen Merkmale besser zu verstehen, wie sie in Zusammenhang mit dem Betrieb der bidirektionalen Schutzvorrichtung **700** als ein Schaltkreis stehen.

**[0087]** Unter Bezugnahme auf **Fig. 7B** weist die bidirektionale Schutzvorrichtung **700** manche Merkmale auf, die bei der oben mit Bezug auf **Fig. 6A** und **Fig. 6B** beschriebenen bidirektionalen Schutzvorrichtung **600** vorhanden sind. Zum Beispiel weist die bidirektionale Schutzvorrichtung **700** ein Halbleitersubstrat **602** mit wenigstens drei darin gebildeten Wannen auf, einschließlich einer ersten n-Typ-Wan-

ne (NW) **618**, die zwischen einer ersten p-Typ-Wanne (PW) **608** und einer zweiten p-Typ-Wanne (PW) **610** dazwischenliegt. Die erste PW **608**, die zweite PW **610** und die erste NW **618** weisen das darin gebildete erste, zweite und dritte stark dotierte n-Typ(n<sup>+</sup>)-Gebiet **620a**, **620b** bzw. **620c** auf. Die erste PW **608** und die zweite PW **610** weisen zusätzlich ein darin gebildetes zweites und viertes p<sup>+</sup>-Gebiet **628b** bzw. **628d** auf. Die Vorrichtung **700** weist zusätzlich Folgendes auf: eine zweite NW **624**, die auf der linken Seite der ersten PW **608** gebildet ist; eine dritte NW **640**, die auf der rechten Seite der zweiten PW **610** gebildet ist und ein darin gebildetes sechstes n<sup>+</sup>-Gebiet **620f** aufweist; eine vierte NW **744**, die auf der linken Seite der zweiten NW **624** gebildet ist und ein darin gebildetes viertes n<sup>+</sup>-Gebiet **720d** aufweist; eine dritte PW **748** zwischen der zweiten NW **624** und der vierten NW **744**, und die ein darin gebildetes siebtes n<sup>+</sup>-Gebiet **728g** aufweist; eine fünfte NW **752**, die auf der rechten Seite der dritten NW **640** gebildet ist und ein darin gebildetes fünftes n<sup>+</sup>-Gebiet **720e** aufweist; und eine vierte PW **756**, die zwischen der dritten NW **640** und der fünften NW **752** gebildet ist, und ein darin gebildetes achttes n<sup>+</sup>-Gebiet **728h**. Die Vorrichtung **700** weist zusätzlich eine DNW **604** auf, die als eine Isolationswanne des Bechertyps angeordnet ist, die wenigstens die unteren Gebiete der ersten PW **608**, der zweiten PW **610**, der ersten NW **618**, der zweiten NW **624** und der dritten NW **640** einschließt und berührt. Ähnlich den oben mit Bezug auf **Fig. 6A** und **Fig. 6B** beschriebenen Ausführungsformen weist die bidirektionale Schutzvorrichtung **700** Folgendes auf: ein zweites p<sup>+</sup>-Gebiet **628b**, das in der ersten PW **608** gebildet ist, ein viertes p<sup>+</sup>-Gebiet **628d**, das in der zweiten PW **610** gebildet ist, ein fünftes p<sup>+</sup>-Gebiet **628e**, das bei einem Grenzgebiet zwischen der ersten PW **608** und der DNW **604** gebildet ist, und ein sechstes p<sup>+</sup>-Gebiet **628f**, das bei einem Grenzgebiet zwischen der ersten NW **618** und der zweiten PW **610** gebildet ist. Die bidirektionale Schutzvorrichtung **700** weist auch ein erstes bis zweites und viertes bis achtstes dielektrisches Isolationsgebiet **636a-636b** und **636d-636h** auf, die bei verschiedenen Positionen gebildet sind, wie gezeigt ist.

[0088] Unter Bezugnahme auf die bidirektionale Schutzvorrichtung **700**, die mit Bezug auf **Fig. 7B** veranschaulicht ist, und den äquivalenten Schaltkreis **700A**, der mit Bezug auf **Fig. 7A** veranschaulicht ist, ist ähnlich der Schutzvorrichtung **600**, die mit Bezug auf **Fig. 6A** und **Fig. 6B** veranschaulicht ist, in der ersten PW **608** das erste n<sup>+</sup>-Gebiet **620a** elektrisch mit einem ersten Anschluss (**T1**) verbunden und ist in der zweiten PW **610** das zweite n<sup>+</sup>-Gebiet **620b** elektrisch mit einem zweiten Anschluss (**T2**) verbunden, sodass das erste n<sup>+</sup>-Gebiet **620a**, die erste PW **608**, die erste NW **618**, die zweite PW **610** und das zweite n<sup>+</sup>-Gebiet **620b** elektrisch zwischen **T1** und **T2** verbunden sind und als ein bidirektionaler npnpn-SCR ausgebildet sind. Wie in dem in **Fig. 7B** überlagerten äquivalen-

ten Schaltbild und dem äquivalenten Schaltbild **700B** aus **Fig. 7A** veranschaulicht, weist der bidirektionale SCR einen ersten bidirektionalen npn-BJT (**Q2**) **614**, einen ersten npn-BJT (**Q1**) **616** und einen zweiten npn-BJT (**Q3**) **612** auf, die elektrisch auf eine zu der bidirektionalen Schutzvorrichtung **600**, die mit Bezug auf **Fig. 6A** und **Fig. 6B** veranschaulicht ist, analoge Weise verbunden sind. Wie anderswo in dieser Beschreibung beschrieben, sind der **Q1** **616** und der **Q2** **614** kreuzgekoppelt, indem sie die Basis von einem mit dem Kollektor des anderen verbunden aufweisen. Gleichermaßen sind der **Q3** **612** und der **Q2** **614** kreuzgekoppelt, indem sie die Basis von einem mit dem Kollektor des anderen verbunden aufweisen. Es versteht sich, dass bei der bidirektionalen Schutzvorrichtung **700** und durch verschiedene hier beschriebene Ausführungsformen hinweg, obwohl ein SCR als einen Typ aufweisend beschrieben sein kann, Ausführungsformen nicht derart beschränkt sind und bei anderen Ausführungsformen ein ähnlicher SCR als ein entgegengesetzter Typ ausgebildet sein kann. Zum Beispiel kann bei anderen Ausführungsformen der erste bidirektionale npn-BJT (**Q2**) **614** ein npn-BJT sein und können der erste und zweite npn-BJT (**Q1**, **Q3**) **616**, **612** npn-BJTs sein.

[0089] Bei der veranschaulichten Ausführungsform ist die erste PW **608** lateral von der ersten NW **618** durch einen Spalt separiert, der aus einem Gebiet der DNW **604** gebildet ist, während die zweite PW **610** die erste NW **618** kontaktiert, um einen Übergang dazwischen zu bilden. Jedoch sind andere Ausführungsformen möglich, wo z. B. die erste PW **608** und die erste NW **618** einander kontaktieren können, so dass sie einen Übergang dazwischen bilden, und/oder wo die zweite PW **610** und die erste NW **618** separiert sind. Auf eine ähnliche Weise können angrenzende Wannen, die als lateral voneinander separiert veranschaulicht sind, einander bei anderen Ausführungsformen kontaktieren und umgekehrt können beliebige angrenzende Wannen, die als in Kontakt miteinander veranschaulicht sind, bei anderen Ausführungsformen durch ein dazwischenliegendes Gebiet der DNW **604** separiert sein.

[0090] Mit fortgesetzter Bezugnahme auf **Fig. 7B** weist die bidirektionale Schutzvorrichtung **700** auf eine ähnliche wie oben mit Bezug auf **Fig. 6A** beschriebene Weise mehrere elektrisch potentialfreie Metallschichten auf, die auf der Oberfläche des Substrats **602** gebildet sind, während sie nicht leitfähig mit dieser verbunden sind, und die sich lateral in der x-Richtung erstrecken, um manche der angrenzenden und entgegengesetzt stark dotierten (n<sup>+</sup>- und p<sup>+</sup>-) Gebiete zu separieren. Die elektrisch potentialfreien Metallschichten weisen Folgendes auf: eine erste bis fünfte elektrisch potentialfreie Metallschicht **632a-632f**. Wie oben beschrieben, können die elektrisch potentialfreien Metallschichten eine Platzierung von entgegengesetzt dotierten angrenzenden Gebieten,

z. B. angrenzenden n<sup>+</sup>- und p<sup>+</sup>-Gebieten, bei relativ naher Nähe für eine hohe Strom- (z. B.  $>1 \times 10^5$  A/cm<sup>2</sup>) und Hochgeschwindigkeitsfähigkeit der bidirektionalen Schutzvorrichtungen gemäß Ausführungsformen ermöglichen, während sie eine Isolationsfunktion ähnlich den dielektrischen Isolationsgebieten bereitstellen. Ohne Einschränkung auf irgendeine Theorie können die hohe Strom- und Hochgeschwindigkeitsfähigkeit bereitgestellt werden, indem z. B. kürzere Basisgebiete des ersten npn-BJT **612**, des zweiten npn-BJT **616** und des bidirektionalen pnp-BJT **614** für eine optimale Transistoreffizienz ermöglicht werden. Während manche angrenzenden n<sup>+</sup>- und p<sup>+</sup>-Gebiete als eine dazwischen gebildete elektrisch potentialfreie Metallschicht aufweisend veranschaulicht sind, sind Ausführungsformen nicht derart beschränkt und können bei anderen Ausführungsformen eine beliebige oder mehrere beliebige der elektrisch potentialfreien Metallschichten mit einem dielektrischen Isolationsgebiet ersetzt oder durch dieses ergänzt werden. Gleichermaßen sind, während manche angrenzende n<sup>+</sup>- und p<sup>+</sup>-Gebiete als ein dazwischen gebildetes dielektrisches Isolationsgebiet aufweisend veranschaulicht sind, Ausführungsformen nicht derart beschränkt und können bei anderen Ausführungsformen eine beliebige oder mehrere beliebige der dielektrischen Isolationsgebiete mit einer elektrisch potentialfreien Metallschicht ersetzt oder durch diese ergänzt werden. Zum Beispiel kann bei anderen Ausführungsformen das fünfte dielektrische Isolationsgebiet **626** weggelassen werden.

**[0091]** Bei verschiedenen hier offenbarten Ausführungsformen können laterale Breiten der ersten bis fünften elektrisch potentialfreien Metallschicht **632a-632f** in Verbindung mit den Dotierungskonzentrationen der Wanne und stark dotierten Gebiete ausgewählt werden, sodass die resultierenden Übergänge hohe Stromdichtefähigkeiten aufweisen, während sie eine hohe Resistenz gegenüber Durchschlags-effekten und Band-zu-Band-Tunneln aufweisen. Bei verschiedenen Ausführungsformen können eine oder mehrere der, oder jede der, ersten bis fünften elektrisch potentialfreien Metallschicht **632a-632f** eine Breite aufweisen, die weniger als etwa 1 µm, weniger als etwa 0,5 µm, weniger als etwa 0,2 µm, zwischen etwa 0,1 µm und etwa 0,3 µm oder zwischen etwa 0,06 µm und etwa 0,2 µm, beispielsweise etwa 0,16 µm, beträgt. Diese Breiten können ein Gleichgewicht zwischen hoher Geschwindigkeit, hohem Strom und hoher Resistenz gegenüber Durchschlagseffekten ermöglichen, wenn sie mit angrenzenden p<sup>+</sup>-Gebieten und n<sup>+</sup>-Gebieten mit einer Spitzendotierungskonzentration kombiniert werden, die etwa  $1 \times 10^{19}$  cm<sup>-3</sup> überschreitet, etwa  $1 \times 10^{20}$  cm<sup>-3</sup> überschreitet oder in dem Bereich zwischen etwa  $1 \times 10^{20}$  cm<sup>-3</sup> und etwa  $8 \times 10^{20}$  cm<sup>-3</sup>, zum Beispiel etwa  $2 \times 10^{20}$  cm<sup>-3</sup>, liegt.

**[0092]** Zusätzlich zu dem Aufweisen der wie oben beschriebenen elektrisch potentialfreien Schichten können die Geschwindigkeit und Sperrspannung der Schutzvorrichtung **700** ferner durch Optimieren einer lateralen Länge des bidirektionalen npnpn-SCR ausgeglichen werden. Bei der veranschaulichten Ausführungsform kann die laterale Länge zwischen dem ersten n<sup>+</sup>-Gebiet **620a** und dem zweiten n<sup>+</sup>-Gebiet **620b** so optimiert werden, dass sie zwischen etwa 10 µm und etwa 30 µm, zwischen etwa 15 µm und etwa 25 µm, beispielsweise etwa 20 µm, liegt. Außerdem weisen die erste PW **608** und die zweite PW **618** eine Spitzendotierungskonzentration in dem Bereich von etwa  $1,5 \times 10^{16}$  cm<sup>-3</sup> bis etwa  $7,5 \times 10^{16}$  cm<sup>-3</sup>, zum Beispiel etwa  $5,0 \times 10^{16}$  cm<sup>-3</sup>, auf, sodass Widerstände **R10** und **R11** zwischen Basen des **Q3 612** und **Q1 616** bzw. **T1** und **T2** zwischen 10 Ω und 400 Ω, 10 Ω und 200 Ω oder 200 Ω und 400 Ω oder in einem Bereich, der durch beliebige dieser Werte definiert wird, liegen.

**[0093]** Manche elektronischen Systeme, z. B. Automobilschnittstellen, programmierbare Logiksteuerungen, Instrumentenverstärker und Kommunikationsschnittstellen mit verteilten fernen Knoten und Sensoren, können Begrenzungen eines geringen Eingangswiderstands (z. B.  $< 20$  Ω) unterliegen. Diese Systeme können Schutzvorrichtungen benötigen, um viele konkurrierende Ansprüche zu erfüllen. Zur gleichen Zeit können diese Systeme konkurrierende Ansprüche an Schutzvorrichtungen haben, um sie vor Hochspannung-EOS-Pulsen zu schützen, während sie eine Haltespannung bereitstellen, die hoch genug ist, um einen Latch-Up zu verhindern, während sie auch dazu ausgebildet sind, rasch auf sehr kurze transiente Belastungen zu reagieren. Zum Beispiel können manche Systeme schnellere Reaktionszeiten und eine höhere Haltespannung benötigen als z. B. durch manche der oben beschriebenen Ausführungsformen bereitgestellt werden kann. Dementsprechend werden im Folgenden zusätzlich zu verschiedenen oben beschriebenen Merkmalen einschließlich einer Optimierung der lateralen Länge des bidirektionalen SCR und Verwenden von elektrisch potentialfreien Metallschichten unten zusätzliche Ausführungen beschrieben, deren Schutzvorrichtungen kompakte Lösungen mit einem Gleichgewicht zwischen Sperrspannung, hoher Stromfähigkeit, schnellen Reaktionszeiten und ausreichender Haltespannung bereitstellen, um nur einige wenige zu nennen.

**[0094]** **Fig. 8A** und **Fig. 8B** sind Veranschaulichungen einer bidirektionalen Schutzvorrichtung **800** mit einer Auslösevorrichtung, die Dioden aufweist, gemäß Ausführungsformen. **Fig. 8B** veranschaulicht eine Querschnittsansicht der Schutzvorrichtung **800** und **Fig. 8A** veranschaulicht ein äquivalentes Schaltbild **800A** der bidirektionalen Schutzvorrichtung **800**. Manche Merkmale der bidirektionalen Schutzvorrich-

tung **800** sind manchen der oben beschriebenen bidirektionalen Schutzvorrichtungen, z. B. der bidirektionalen Schutzvorrichtung **700** (**Fig. 7A**, **Fig. 7B**) ähnlich und daher werden im Folgenden ausführliche Beschreibungen mancher der sich überschneidenden Merkmale weggelassen.

[0095] Unter Bezugnahme auf **Fig. 8B** weisen die bidirektionalen Schutzvorrichtungen **800** ein Halbleitersubstrat **602** auf, in dem eine erste NW **618**, eine erste PW **608**, eine zweite PW **610**, ein erstes, zweites und drittes n<sup>+</sup>-Gebiet **620a**, **620b** und **620c** und ein zweites und viertes p<sup>+</sup>-Gebiet **628b** und **628d** auf eine ähnliche Weise, wie oben mit Bezug auf **Fig. 7B** beschrieben, gebildet sind. Die bidirektionale Schutzvorrichtung **800** weist zusätzlich eine zweite NW **624**, eine dritte NW **640** mit einem darin gebildeten sechsten n<sup>+</sup>-Gebiet **620f**, eine vierte NW **744** mit einem darin gebildeten vierten n<sup>+</sup>-Gebiet **720d**, eine dritte PW **748** mit einem darin gebildeten siebten p<sup>+</sup>-Gebiet **728g**, eine fünfte NW **752** mit einem darin gebildeten fünften n<sup>+</sup>-Gebiet **720e** und eine vierte PW **756** mit einem darin gebildeten achten p<sup>+</sup>-Gebiet **728h** und eine DNW **604** auf, die ähnlich wie bei der oben mit Bezug auf **Fig. 7B** veranschaulichten bidirektionalen Vorrichtung **700** angeordnet sind. Ähnlich der Vorrichtung **700** (**Fig. 7B**) weisen die bidirektionalen Schutzvorrichtungen **800** ein zweites p<sup>+</sup>-Gebiet **628b**, ein viertes p<sup>+</sup>-Gebiet **628d**, ein erstes bis zweites und viertes bis achties dielektrisches Isolationsgebiet **636a-636b** und **636d-636h** auf. Im Vergleich zur oben mit Bezug auf **Fig. 7B** beschriebenen Schutzvorrichtung **700** lässt die Vorrichtung **800** jedoch das fünfte p<sup>+</sup>-Gebiet **628e** und das sechste p<sup>+</sup>-Gebiet **628f** weg. Stattdessen weist die Vorrichtung **800** ein neuntes dielektrisches Gebiet **836i** und ein zehntes dielektrisches Gebiet **836j** in Gebieten auf, aus denen das fünfte p<sup>+</sup>-Gebiet **628e** und das sechste p<sup>+</sup>-Gebiet **628f** mit Bezug auf die bidirektionale Schutzvorrichtung **700** (**Fig. 7B**) weggelassen sind. Zusätzlich weist die Vorrichtung **800** im Gegensatz zu der Schutzvorrichtung **700** ein sechstes n<sup>+</sup>-Gebiet **720f**, das in der zweiten NW **624** gebildet ist, und ein siebtes n<sup>+</sup>-Gebiet **720g**, das in der dritten NW **640** gebildet ist, auf. Das sechste n<sup>+</sup>-Gebiet **720f** liegt zwischen einem dritten dielektrischen Isolationsgebiet **636c** und dem vierten dielektrischen Gebiet **636d** dazwischen und das siebte n<sup>+</sup>-Gebiet **720g** liegt zwischen einem elften dielektrischen Isolationsgebiet **836k** und dem fünften dielektrischen Isolationsgebiet **636f** dazwischen.

[0096] Ähnlich der Vorrichtung **700**, die oben mit Bezug auf **Fig. 7A** und **Fig. 7B** beschrieben ist, ist bei der bidirektionalen Schutzvorrichtung **800**, die mit Bezug auf **Fig. 8B** veranschaulicht ist, und dem äquivalenten Schaltkreis **800A**, der mit Bezug auf **Fig. 8A** veranschaulicht ist, das erste stark dotierte n-Typ(n<sup>+</sup>)-Gebiet **620a** elektrisch mit einem ersten Anschluss (**T1**) verbunden und ist das zweite stark dotierte n-

Typ (n<sup>+</sup>)-Gebiet **620b** elektrisch mit einem zweiten Anschluss (**T2**) verbunden, wobei das erste n<sup>+</sup>-Gebiet **620a**, die erste PW **608**, die erste NW **618**, die zweite PW **610** und das zweite n<sup>+</sup>-Gebiet **620b**, die als ein bidirektionaler npnpn-SCR ausgebildet sind, zwischen **T1** und **T2** gebildet sind. Der bidirektionale npnpn-SCR weist einen ersten bidirektionalen npn-BJT (**Q2**) **614**, einen ersten npn-BJT (**Q1**) **616** und einen zweiten npn-BJT (**Q3**) **612** auf, die kreuzgekoppelt sind und elektrisch auf eine zu der bidirektionalen Schutzvorrichtung **700** aus **Fig. 7A** und **Fig. 7B** analoge Weise verbunden sind. Das erste n<sup>+</sup>-Gebiet **620a** und das zweite n<sup>+</sup>-Gebiet **620b** können in Abhängigkeit von der Polarität des transienten elektrischen Ereignisses als eine Anode (A) bzw. eine Kathode (K) oder als eine Kathode (K) bzw. eine Anode (A) dienen.

[0097] Immer noch unter Bezugnahme auf **Fig. 8B** weist die bidirektionale Schutzvorrichtung **800** eine Auslösevorrichtung, die eine Diode aufweist, funktionell auf eine den oben mit Bezug auf **Fig. 3A** und **Fig. 4B** beschriebenen Ausführungsformen ähnliche Weise auf. Bei der veranschaulichten Ausführungsform sind ein oder mehrere p-Typ-Gebiete des zweiten p<sup>+</sup>-Gebiets **628b** und der ersten PW **608** und ein oder mehrere n-Typ-Gebiete der DNW **604**, der zweiten NW **624** und des sechsten n<sup>+</sup>-Gebiet **720f** als eine erste Auslösediode (Dn) **808** ausgebildet, wobei das eine oder die mehreren p-Typ-Gebiete als eine Anode der Dn **808** dienen und das eine oder die mehreren n-Typ-Gebiete als eine Kathode der Dn **808** dienen. Das erste n<sup>+</sup>-Gebiet **620a** und das zweite p<sup>+</sup>-Gebiet **628b** sind beide in der ersten PW **608** gebildet, **Q4**, der erste npn-BJT **612** und die Anode der Dn **808** sind gemeinsam elektrisch mit **T2** verbunden.

[0098] Immer noch unter Bezugnahme auf **Fig. 8B** sind auf eine zu der Konfiguration der Dn **808** analoge Weise ein oder mehrere p-Typ-Gebiete des vierten p<sup>+</sup>-Gebiets **628d** und der zweiten PW **612** und ein oder mehrere n-Typ-Gebiete der DNW **603**, der dritten NW **640** und des siebten n<sup>+</sup>-Gebiets **720g** als eine zweite Auslösediode (Dp) **804** ausgebildet, wobei das eine oder die mehreren p-Typ-Gebiete als eine Anode der Dp **804** dienen und das eine oder die mehreren n-Typ-Gebiete als eine Kathode der Dp **804** dienen. Das zweite n<sup>+</sup>-Gebiet **620b** und das vierte p<sup>+</sup>-Gebiet **628d** sind beide in der zweiten PW **610** gebildet, so dass der Emitter des **Q1** **616** und die Anode der Dp **804** gemeinsam elektrisch mit **T1** verbunden sind.

[0099] Immer noch unter Bezugnahme auf **Fig. 8A** und **Fig. 8B** weisen die Gebiete, die die Dn **808** bilden, und/oder die Gebiete, die die Dp **804** bilden, unter gewissen Konfigurationen derartige physikalische Charakteristiken auf, dass sich die Dn **808** und/oder die Dp **804** im Wesentlichen als Lawinendioden verhalten. Wie hier beschrieben, ist eine Lawinendiode

eine Diode, die so gestaltet ist, dass sie einen Lawinendurchbruch bei einer spezifizierten Rückwärtsvorspannung erfährt. Ohne Einschränkung auf irgendeine Theorie wird ein Lawinendurchbruch durch Minoritätsladungsträger verursacht, die auf eine Geschwindigkeit beschleunigt werden, die hoch genug ist, sodass die beschleunigten Minoritätsladungsträger das Kristallgitter ionisieren, wobei mehr Ladungsträger produziert werden, die wiederum eine größere Ionisierung erzeugen. Insbesondere, wenn eine Strompfadlänge **D1** zwischen dem sechsten n<sup>+</sup>-Gebiet **720f** und dem zweiten p<sup>+</sup>-Gebiet **628b**, wie z. B. durch die Breite der vierten dielektrischen Isolation **636d** gemessen, weniger als 5 µm, weniger als 3, 5 µm oder weniger als 2 µm beträgt, ist die resultierende Dn **808** als eine Lawinendiode gemäß Ausführungsformen ausgebildet. Gleichermaßen ist, wenn eine Strompfadlänge **D2** zwischen dem siebten n<sup>+</sup>-Gebiet **720g** und dem vierten p<sup>+</sup>-Gebiet **628d** weniger als 5 µm, weniger als 3,5 µm oder weniger als 2 µm beträgt, die resultierende Dp **804** so ausgebildet, dass sie als eine Lawinendiode gemäß Ausführungsformen dient. Die resultierende Dn **808** und Dp **804** können schnelle Reaktionszeiten aufweisen, wie unten mit Bezug auf z. B. **Fig. 10A** und **Fig. 10B** veranschaulicht ist.

**[0100]** Unter weiterer Bezugnahme auf **Fig. 8B** weist, auf eine ähnliche Weise wie oben mit Bezug auf die bidirektionale Schutzvorrichtung **700** (**Fig. 7B**) beschrieben, die bidirektionale Schutzvorrichtung **800** mehrere elektrisch potentialfreie Metallschichten auf, die sich lateral in der x-Richtung erstrecken und manche der angrenzenden stark dotierten (n<sup>-</sup>- und p<sup>-</sup>-) Gebiete separieren. Die elektrisch potentialfreien Metallschichten weisen eine erste bis sechste elektrisch potentialfreie Metallschicht **632a-632f** auf, die eine Platzierung von entgegengesetzt dotierten angrenzenden n<sup>-</sup>- und p<sup>-</sup>-Gebieten bei relativ naher lateraler Nähe für eine hohe Strom- (z. B. >1×10<sup>5</sup> A/cm<sup>2</sup>) und Hochgeschwindigkeitsfähigkeit ermöglichen können, während sie dazu dienen, Band-zu-Band-Tunneln und Durchschlagseffekte zu unterdrücken, z. B. durch Ermöglichen kürzerer Basisgebiete des ersten npn-BJT **612**, des zweiten npn-BJT **616** und des bidirektionalen pnp-BJT **614** für eine optimale Transistoreffizienz und durch Ermöglichen kürzerer Strompfadlängen **D1** und **D2**, wie oben mit Bezug auf **Fig. 7A** und **Fig. 7B** und unten mit Bezug auf **Fig. 10A** und **Fig. 10B** besprochen ist.

**[0101]** Im Betrieb kann, wenn die bidirektionale Schutzvorrichtung **800** ein transientes elektrisches Signal, z. B. ein EOS-Signal, zwischen **T1** und **T2** empfängt, kann eine kombinierte Einschaltspannung des Paares von Dioden Dn **808**, Dp **804** in Abhängigkeit von der Polarität des transienten elektrischen Signals näherungsweise die, oder proportional zu der, Summe einer Vorwärtsschwelle oder Einschaltspannung einer von DN **808** und Dp **804**, die in Vorwärts-

richtung vorgespannt ist, und einer Durchbruchspannung in Rückwärtsrichtung einer von Dn **808** und Dp **804**, die in Rückwärtsrichtung vorgespannt ist, sein. Wie oben beschrieben kann die kombinierte Einschaltspannung des Paares von Dioden Dn **808**, Dp **804** durch Optimieren von **D1** und **D2** entsprechend für einen bestimmten Zweck angepasst werden. Die Erfinder haben, ohne auf irgendeine Theorie eingeschränkt zu sein, herausgefunden, dass ein Spannungsüberschwingen mancher Schutzvorrichtungen während Belastungsbedingungen durch eine Verzögerung eines Ladungsträgertransports verursacht wird. Vorteilhafterweise kann durch Anordnen des Paares von Dioden Dn **808**, Dp **804** elektrisch parallel zu dem bidirektionalen npnpn-SCR, der den ersten npn-BJT **612**, den ersten pnp-BJT **614** und den zweiten npn-BJT **606** aufweist, wobei das Paar von Dioden Dn **808**, Dp **804** relativ kurze Abstände von Anode zu Kathode aufweist, die Reaktions- oder Einschaltzeit der bidirektionalen Schutzvorrichtung **800** im Vergleich zu bidirektionalen SCR-Vorrichtungen ohne das Paar von Dioden Dn **808**, Dp **804** viel schneller und das resultierende Spannungsüberschwingen erheblich niedriger gemacht werden.

**[0102]** Immer noch unter Bezugnahme auf **Fig. 8A** und **Fig. 8B** kann das Paar von Dioden Dn **808**, Dp **804** zusätzlich zu dem Bereitstellen einer schnelleren Reaktionszeit durch einen anfänglichen Leitungspfad, der schneller als ein Leitungspfad durch den bidirektionalen npnpn-SCR ist, die Reaktion des bidirektionalen npnpn-SCR selbst teilweise durch die elektrische Verbindung zwischen den Kathoden der Dioden Dn **808**, Dp **804** und der Basis des ersten pnp-BJT **614** durch die eine oder die mehreren Metallisierungsebenen **752** beschleunigen. Wie veranschaulicht, sind das sechste n<sup>-</sup>-Gebiet **720f**, das wenigstens teilweise als die Kathode der Dn **808** dient, und das siebte n<sup>-</sup>-Gebiet **720g**, das wenigstens teilweise als die Kathode der Dp **804** dient, elektrisch mit der ersten NW **618** durch die eine oder die mehreren Metallisierungsebenen **752** verbunden, die oberhalb der bidirektionalen Schutzvorrichtung **800** gebildet sind, die in dem Substrat **602** gebildet ist. Die eine oder die mehreren Metallisierungsebenen **752** können auf eine ähnliche Weise gebildet werden und können beliebige der oben mit Bezug auf die eine oder die mehreren Metallisierungsebenen **652**, die oben mit Bezug auf **Fig. 6A** und **Fig. 6B** beschrieben sind, beschriebenen Merkmale aufweisen. Zum Beispiel können, obwohl dies nicht gezeigt ist, die eine oder die mehreren Metallisierungsebenen **752** als dritter und vierter Widerstand **R3**, **R4** dienen, die einen Widerstandswert zwischen etwa 0,01 Ohm und etwa 2000 Ohm, beispielsweise etwa 0,05 Ohm, aufweisen können und aus einer oder mehreren strukturierten Polysilicium- oder strukturierten Dünnschichtmetallschichten gebildet sein können. Bei der veranschaulichten Ausführungsform ist das sechste n<sup>-</sup>-Gebiet **720f** durch die eine oder die mehreren der Metallisierungsebe-

nen **752** elektrisch mit dem dritten stark dotierten ( $n^+$ -) Gebiet **620c** verbunden, das in der ersten NW **618** gebildet ist, die in einem zentralen Gebiet des bidirektionalen npnpn-SCR angeordnet sein kann. Analog dazu ist das siebte  $n^+$ -Gebiet **720f** durch die eine oder die mehreren der Metallisierungsebenen **752** elektrisch mit dem dritten stark dotierten ( $n^+$ -) Gebiet **620c** verbunden, das in der ersten NW **618** gebildet ist.

**[0103]** Indem die Kathoden der Dioden Dn **808**, Dp **804** durch die erste NW **618** elektrisch mit dem bidirektionalen npnpn-SCR verbunden sind, können Elektronen von den Dioden Dn **808**, Dp **804** an den bidirektionalen npnpn-SCR geliefert werden, um die Aktivierung von diesem zu beschleunigen, sodass die Kombination des bidirektionalen npnpn-SCR, der elektrisch parallel mit dem Paar von Dioden Dn **808**, Dp **804** verbunden ist, analog zu dem bidirektionalen SCR **404** und der Auslösevorrichtung **442**, die oben mit Bezug auf z. B. **Fig. 4B** beschrieben sind, arbeitet.

**[0104]** **Fig. 9** ist ein Graph **900**, der simulierte DC-Strom-Spannung(IV)-Kurven verschiedener Vorrichtungen veranschaulicht, einschließlich IV-Kurven **904**, **908**, **912**, die der bidirektionalen Schutzvorrichtung **700** (**Fig. 7A/7B**), einem Diodenpaar ähnlich dem Paar von Dioden Dn **808**, Dp **804** der bidirektionalen Schutzvorrichtung **800** (**Fig. 8A/8B**) bzw. einer Kombination des bidirektionalen npnpn-SCR und des Paares von Dioden Dn **808**, Dp **804** ähnlich der bidirektionalen Schutzvorrichtung **800** (**Fig. 8B**) entsprechen. Wie durch die IV-Kurve **908** veranschaulicht, ist die DC-Durchbruchspannung des Paares von Dioden in Isolation größer als die DC-Durchbruchspannung des bidirektionalen SCR unter DC-Bedingungen. Daher weist das Paar von Dioden, wenn es elektrisch parallel mit dem bidirektionalen npnpn-SCR verbunden ist, einen sehr geringen Einfluss auf die IV-Kurve des bidirektionalen npnpn-SCR auf, wie durch die IV-Kurve **912** veranschaulicht ist.

**[0105]** **Fig. 10A** und **Fig. 10B** sind Graphen **1000A**, **100B**, die simulierte Spannung-Zeit(V-t)-Kurven verschiedener Vorrichtungen unter TLP-Testbedingungen (TLP: Übertragungsleitungspuls) (Strompegel von 1A, 100 ps Anstiegszeit und 10 ns Pulsbreite) veranschaulicht, einschließlich V-t-Kurven **1004**, **1008**, **1012**, **1016**, die der bidirektionalen Schutzvorrichtung **700** (**Fig. 7A/7B**), einem Diodenpaar ähnlich dem Paar von Dioden Dn **808**, Dp **804** der bidirektionalen Vorrichtung **800** (**Fig. 8A/8B**), einer Kombination des bidirektionalen npnpn-SCR und des Paares von Dioden ähnlich der bidirektionalen Schutzvorrichtung **800** (**Fig. 8A/8B**) bzw. einer modifizierten Kombination des bidirektionalen npnpn-SCR und des Paares von Dioden ähnlich der bidirektionalen Schutzvorrichtung **1200** (**Fig. 12A/12B**, die unten beschrieben sind) entsprechen. Der Graph **1000A** veranschaulicht die Spannungsantwort in dem Zeitbe-

reich von 1-10 ns und der Graph **1000B** veranschaulicht die Spannungsantwort in dem Zeitbereich von 0-500 ps. Wie veranschaulicht, wird eine Spitzenüberschwingungsspannung von beinahe 90 V, wie in der V-t-Kurve **1004** zwischen 50 ns und 100 ps beobachtet, auf etwa 45 V in den V-t-Kurven **1012** und **1016** reduziert, die den Vorrichtungen mit Dioden entsprechen. Außerdem wird eine Haltespannung, z. B. bei etwa 2-4 ns, in der V-t-Kurve **1012** relativ zu der V-t-Kurve **1004** erhöht, wird aber in der V-t-Kurve **1016** relativ zu der V-t-Kurve **1004** verringert, was die Abstimmbarkeit der Haltespannung gemäß hier beschriebenen strukturellen Modifikationen angibt, z. B. Modifikationen von Vorrichtungsstrukturen gemäß bidirektionalen Schutzvorrichtungen, die mit Bezug auf **Fig. 7A/7B**, **8A/8B** und **12A/12B** veranschaulicht sind. Die Abstimmbarkeit der Haltespannung kann aus verschiedenen Gründen vorteilhaft sein. Unter manchen Umständen kann eine hohe Haltespannung wünschenswert sein, um z. B. ein Latch-Up zu verhindern. Bei anderen Umständen ist jedoch eine hohe Haltespannung möglicherweise nicht wünschenswert, wenn die hohe Haltespannung die Vorrichtungsrobustheit beeinträchtigen kann, z. B. eine Verschlechterung der ESD/EMC-Schutz-Leistungsfähigkeit aufgrund höherer Joulescher Erwärmung.

**[0106]** Unter Bezugnahme auf **Fig. 11A** sind verschiedene Strompfade einer bidirektionalen Schutzvorrichtung **1100** mit einer Auslösevorrichtung, die Dioden im Betrieb aufweist, basierend auf einer Simulation veranschaulicht, um das Verständnis verschiedener elektrischer Reaktionen auf ein transientes elektrisches Ereignis zu fördern. **Fig. 11A** veranschaulicht eine Querschnittsansicht der Schutzvorrichtung **1100**, welche verschiedene Gebiete in dem Halbleitersubstrat **602** aufweist, die ähnlich wie die Schutzvorrichtung **700** ausgebildet sind, die oben mit Bezug auf **Fig. 7A** und **Fig. 7B** beschrieben ist. Außerdem weist die Schutzvorrichtung **1100** auf eine ähnliche Weise wie die Schutzvorrichtung **800**, die oben mit Bezug auf **Fig. 8A** und **Fig. 8B** beschrieben ist, eine oder mehrere Metallisierungsebenen **752** auf, die eine erste Auslösediode (Dn) **808** und eine zweite Auslösediode (Dp) **804** elektrisch verbinden, z. B. Kathoden von dieser verbinden. Insbesondere weist die bidirektionale Schutzvorrichtung **1100** das erste  $n^+$ -Gebiet **620a**, die erste PW **608**, die erste NW **618**, die zweite PW **610** und das zweite  $n^+$ -Gebiet **620b** auf, die als ein bidirektionaler npnpn-SCR ausgebildet sind. Die Schutzvorrichtung **1100** weist zusätzlich eine oder mehrere p-Typ-Gebiete des zweiten  $p^+$ -Gebiets **628b** und der ersten PW **608** und ein oder mehrere n-Typ-Gebiete der DNW **604**, der zweiten NW **624** und des sechsten  $n^+$ -Gebiets **720f** auf, die als eine erste Auslösediode (Dn) **808** ausgebildet sind. Zusätzlich zu dem ersten  $n^+$ -Gebiet **620a** weist die erste PW **608** das zusätzlich darin gebildete zweite  $p^+$ -Gebiet **628b** auf, so dass der Emitter des ersten npn-BJT (**Q3**) **612** und die Anode der Dn **808** gemein-

sam elektrisch mit **T2** verbunden sind. Die Schutzvorrichtung **1100** weist zusätzlich eine oder mehrere p-Typ-Gebiete des vierten p<sup>+</sup>-Gebiets **628d** und der zweiten PW **612** und ein oder mehrere n-Typ-Gebiete der DNW **603**, der dritten NW **640** und des siebten n<sup>+</sup>-Gebiets **720g** auf, die als eine zweite Auslösediode (Dp) **804** ausgebildet sind. Zusätzlich zu dem zweiten n<sup>+</sup>-Gebiet **620b** weist die zweite PW **610** ein zusätzlich darin gebildetes viertes p<sup>+</sup>-Gebiet **628d** auf, so dass der Emitter des zweiten npn-BJT **616** und die Anode der Dp **804** gemeinsam elektrisch mit **T1** verbunden sind. Basierend auf einer Simulation haben die Erfinder herausgefunden, dass durch Konfigurieren der Schutzvorrichtung derart, dass gewisse Anteile des Stroms durch unterschiedliche Strompfade fließen, verschiedene Parameter einschließlich der Haltespannung gesteuert werden können. Insbesondere weisen die unterschiedlichen Strompfade, die in der Schutzvorrichtung **1100** gebildet sind, einen Diodenpfad **1104** von dem sechsten n<sup>+</sup>-Gebiet **720f** zu dem zweiten p<sup>+</sup>-Gebiet **628b** durch die Dn **808** und von dem fünften n<sup>+</sup>-Gebiet **620e** zu dem vierten p<sup>+</sup>-Gebiet **628d** durch die Dp **804**, einen npn-Pfad **1108** von dem dritten n<sup>+</sup>-Gebiet **620c** zu dem ersten n<sup>+</sup>-Gebiet **620a** durch den ersten npn-Transistor **612** und einen bidirektionalen SCR-Pfad **1112** von dem vierten p<sup>+</sup>-Gebiet **628d** zu dem ersten n<sup>+</sup>-Gebiet **620a** durch den bidirektionalen npnpn-SCR auf. Wieder unter Bezugnahme auf den in **Fig. 8A** veranschaulichten äquivalenten Schaltkreis ist die zweite Auslösediode Dp **804** elektrisch parallel zu dem Widerstand **R11**, der in der zweiten PW **606** gebildet ist, und elektrisch parallel zu der Emitter-Basis-Diode des pnp-Transistors (**Q2**) **614** angeordnet. Als Reaktion auf ein transientes elektrisches Ereignis sind simulierte relative Prozentsätze von Strömen durch die unterschiedlichen Strompfade **1104**, **1108** und **1112** als eine Funktion der Zeit in **Fig. 11B** veranschaulicht. Wie veranschaulicht, ist in den ersten 10 ns der Prozentsatz des Stroms durch den Diodenpfad **1104** relativ hoch. Die Erfinder haben herausgefunden, dass dieser relativ hohe Anteil des Stroms durch die Dioden Dp **804**, Dn **808** zu einem relativ geringen Anteil des Stroms durch den npn-Pfad **1108** führt, was wiederum zu einer relativ hohen Haltespannung führt, die oben mit Bezug auf **Fig. 10A** und **Fig. 10B** beschrieben ist (siehe V-t-Kurve **1012** relativ zu der V-t-Kurve **1004**). Basierend auf dieser beobachteten Korrelation zwischen der relativen Menge des Stroms durch den Diodenpfad **1104** und der Haltespannung haben die Erfinder herausgefunden, dass die Haltespannung erhöht werden kann, indem die relative Menge des Stroms durch den Diodenpfad **1104** erhöht wird. Im Gegensatz dazu kann die Haltespannung basierend auf strukturellen Modifikationen, die unten mit Bezug auf **Fig. 12A** und **Fig. 12B** beschrieben sind, abgesenkt werden.

**[0107]** **Fig. 12A** und **Fig. 12B** veranschaulichen eine bidirektionale Schutzvorrichtung **1200**, die integrier-

te Auslösedioden aufweist und für niedrigere Haltespannungen ausgebildet ist, gemäß Ausführungsformen. **Fig. 12B** veranschaulicht eine Querschnittsansicht der Schutzvorrichtung **1200** und **Fig. 12A** veranschaulicht ein äquivalentes Schaltbild **1200A** der bidirektionalen Schutzvorrichtung **1200**. Manche Merkmale der bidirektionalen Schutzvorrichtung **1300** sind der bidirektionalen Schutzvorrichtung **800** (**Fig. 8A**, **Fig. 8B**) ähnlich und daher wird im Folgenden eine ausführliche Beschreibung mancher der ähnlichen Merkmale weggelassen.

**[0108]** Unter Bezugnahme auf **Fig. 12B** weist die Schutzvorrichtung **1200** verschiedene Gebiete in dem Halbleitersubstrat **602** auf, die ähnlich der bidirektionalen Schutzvorrichtung **800**, die oben mit Bezug auf **Fig. 8B** beschrieben ist, positioniert und ausgebildet sind, mit der Ausnahme, dass bei der Schutzvorrichtung **1200** das dritte n<sup>+</sup>-Gebiet **620c** weggelassen ist und an seiner Stelle ein zentrales p<sup>+</sup>-Gebiet **1220** in der ersten NW **618** gebildet ist. Der resultierende äquivalente Schaltkreis ist in **Fig. 12A** veranschaulicht. Ähnlich der Vorrichtung **800**, die oben mit Bezug auf **Fig. 8A** und **Fig. 8B** beschrieben ist, weist die bidirektionale Schutzvorrichtung **1200** einen ersten bidirektionalen npnpn-SCR auf, der einen ersten bidirektionalen pnp-BJT (**Q2**) **614**, einen ersten npn-BJT (**Q1**) **616** und einen zweiten npn-BJT (**Q3**) **612** aufweist, die elektrisch auf eine zu der bidirektionalen Schutzvorrichtung **800** (**Fig. 8A/8B**) analoge Weise verbunden sind. Das erste n<sup>+</sup>-Gebiet **620a** und das zweite n<sup>+</sup>-Gebiet **620b** können in Abhängigkeit von der Polarität des transienten elektrischen Ereignisses als eine Anode (A) bzw. eine Kathode (K) oder als eine Kathode (K) bzw. eine Anode (A) des bidirektionalen npnpn-SCR dienen.

**[0109]** Immer noch unter Bezugnahme auf **Fig. 12B** bildet, im Gegensatz zu der oben mit Bezug auf **Fig. 8A** und **Fig. 8B** beschriebenen Vorrichtung **800**, die Anwesenheit des zentralen p<sup>+</sup>-Gebiets **1220** einen zweiten pnp-BJT (**Q4**) **1208** und einen dritten pnp-BJT (**Q5**) **1204**. Für den **Q4** **1208** ist das zentrale p<sup>+</sup>-Gebiet **1220** als ein Emitter ausgebildet, sind die erste NW **618** und die DNW **604** als eine Basis ausgebildet und ist die erste PW **608** als ein Kollektor ausgebildet. Für den **Q5** **1204** ist das zentrale p<sup>+</sup>-Gebiet **1220** als ein Emitter ausgebildet, sind die erste NW **618** und die DNW **604** als eine Basis ausgebildet und ist die zweite PW **610** als ein Kollektor ausgebildet. Unter Bezugnahme auf den in **Fig. 12A** veranschaulichten äquivalenten Schaltkreis ist die zweite Auslösediode Dp **804** elektrisch parallel mit dem Widerstand **R11**, der in der zweiten PW **616** gebildet ist, und elektrisch parallel mit einem ersten npnp-SCR, der durch den **Q2** **614** und den **Q1** **616** gebildet wird, angeordnet, wobei sowohl der **Q2** **614** als auch der **Q1** **616** eine Basis aufweisen, die mit einem Kollektor des anderen des **Q2** **614** und **Q1** **616** verbunden ist. Wie ausgebildet, ist der erste npnp-SCR elektrisch

parallel zu einem zweiten npnp-SCR, der durch den **Q1 616** und den **Q5 1204** gebildet ist, wobei sowohl der **Q1 616** als auch der **Q5 1204** eine Basis aufweisen, die mit einem Kollektor des anderen des **Q1 616** und des **Q5 1204** verbunden ist. Dementsprechend bildet der **Q1 616** einen gemeinsamen npn-BJT, der zwischen dem ersten und zweiten npnp-SCR geteilt wird. Gleichermaßen ist die erste Auslösediode **Dn 808** elektrisch parallel mit dem Widerstand **R10**, der in der ersten PW **608** gebildet ist, und elektrisch parallel mit einem dritten npnp-SCR, der durch den **Q2 614** und den **Q3 612** gebildet wird, angeordnet, wobei sowohl der **Q2 614** als auch der **Q3 612** eine Basis aufweisen, die mit einem Kollektor des anderen des **Q2 614** und **Q3 612** verbunden ist. Wie ausgebildet, ist der dritte npnp-SCR auch elektrisch parallel zu einem vierten npnp-SCR, der durch den **Q4 612** und den **Q4 1208** gebildet ist, wobei sowohl der **Q3 612** als auch der **Q4 1208** eine Basis aufweisen, die mit einem Kollektor des anderen des **Q3 612** und **Q4 1208** verbunden ist. Dementsprechend bildet der **Q2 616** einen gemeinsamen npn-BJT, der zwischen dem dritten und vierten npnp-SCR geteilt wird.

[0110] Immer noch unter Bezugnahme auf **Fig. 12B** weist die bidirektionale Schutzvorrichtung **1200** ähnlich der Vorrichtung **800** (**Fig. 8A/8B**) eine erste Auslösediode (**Dn 808**) auf, wobei der Emitter des ersten npn-BJT **612** und die Anode des **Dn 808** gemeinsam elektrisch mit **T2** verbunden sind, und weist ferner eine zweite Auslösediode (**Dp 804**) auf, wobei der Emitter des zweiten npn-BJT **616** und die Anode der **Dp 804** gemeinsam elektrisch mit **T1** verbunden sind. Aufgrund der Anwesenheit des **Q5 1204** und des resultierenden zweiten npnp-SCR, der durch den gekoppelten **Q1 616** und **Q5 1204** gebildet ist und der elektrisch parallel zu der **Dp 804** ist, fließt im Vergleich zu der Schutzvorrichtung **800** (**Fig. 8A/8B**) eine relativ kleine Menge an Strom durch die **Dp 804** in der Schutzvorrichtung **1200** als Reaktion auf transiente elektrische Ereignisse. Gleichermaßen fließt, aufgrund der Anwesenheit des **Q4 1208** und des resultierenden vierten npnp-SCR, der durch den gekoppelten **Q3 612** und **Q4 1208** gebildet ist und der elektrisch parallel zu der **Dn 808** ist, im Vergleich zu der Schutzvorrichtung **800** (**Fig. 8A/8B**) eine relativ kleine Menge an Strom durch die **Dn 808** in der Schutzvorrichtung **1200** als Reaktion auf transiente elektrische Ereignisse. Der Effekt der relativ niedrigeren Menge an Strom, der durch die **Dp 804** und die **Dn 808** fließt, auf das Vorrichtungserhalten der Schutzvorrichtung **1200** ist ferner unten mit Bezug auf **Fig. 13A** und **Fig. 13B** beschrieben.

[0111] **Fig. 12C** veranschaulicht eine bidirektionale Schutzvorrichtung **1200B** gemäß Ausführungsformen. Die Schutzvorrichtung **1200B** ist mit der mit Bezug auf **Fig. 12B** veranschaulichten Schutzvorrichtung **1200** identisch, mit der Ausnahme, dass die fünfte dielektrische Isolation **636e** aus der ersten NW **618**

weggelassen ist. Auf eine ähnliche Weise wie oben mit Bezug auf **Fig. 8B** beschrieben weist die bidirektionale Schutzvorrichtung **1200B** mehrere elektrisch potentialfreie Metallschichten, die sich lateral in der x-Richtung erstrecken und manche der angrenzenden stark dotierten ( $n^+$ - und  $p^+$ -) Gebiete separieren: eine erste bis sechste elektrisch potentialfreie Metallschicht **632a-632f**, die eine Platzierung von entgegengesetzt dotierten angrenzenden  $n^+$ - und  $p^+$ -Gebieten in relativ naher lateraler Nähe für hohe Strom- und Hochgeschwindigkeitsfähigkeit auf eine ähnliche Weise wie oben mit Bezug auf **Fig. 8A** und **Fig. 8B** besprochen ermöglichen können. Bei verschiedenen Ausführungsformen stellen die elektrisch potentialfreien Metallschichten den hohen Strom und die hohe Geschwindigkeit bereit, während sie ebenfalls Isolationseffekte ähnlich den dielektrischen Isolationsgebieten bereitstellen. Dementsprechend überlappen die elektrisch potentialfreien Metallschichten **632a-632f** bei der veranschaulichten Ausführungsform lateral nicht mit einem dielektrischen Isolationsgebiet.

[0112] **Fig. 13B** veranschaulicht unterschiedliche Strompfade einer bidirektionalen Schutzvorrichtung **1300** im Betrieb basierend auf Simulationen. **Fig. 13A** veranschaulicht eine Querschnittsansicht der bidirektionalen Schutzvorrichtung **1300**, die verschiedene Gebiete in dem Halbleitersubstrat **602** aufweist, die ähnlich der bidirektionalen Schutzvorrichtung **1100**, die oben mit Bezug auf **Fig. 11A** beschrieben ist, ausgebildet sind, mit der Ausnahme, dass bei der Schutzvorrichtung **1300** das dritte  $n^+$ -Gebiet **620c** weggelassen ist und an seiner Stelle ein zentrales  $p^+$ -Gebiet **1220** in der ersten NW **618** auf eine ähnliche Weise, wie bei der bidirektionalen Schutzvorrichtung **1200** (**Fig. 12A/12B**), gebildet ist. Infolgedessen weisen unterschiedliche Strompfade, die in der Schutzvorrichtung **1300** gebildet sind, einen Diodenpfad **1304** und einen SCR-Pfad **1312** ähnlich dem Diodenpfad **1104** und dem SCR-Pfad **1112**, die oben mit Bezug auf **Fig. 11A** beschrieben sind, auf. Im Gegensatz jedoch zu dem npn-Pfad **1108**, der oben mit Bezug auf **Fig. 11A** beschrieben ist, weist die Vorrichtung **1300** einen zweiten SCR-Pfad **1308** durch das zentrale  $p^+$ -Gebiet **1220**, die erste NW **618**, die DNW **604**, die erste PW **608** und das erste  $n^+$ -Gebiet **620a** auf. Wie oben mit Bezug auf **Fig. 12A** und **Fig. 12B** beschrieben, bildet die Anwesenheit des  $p^+$ -Gebiets **1220** einen zweiten npn-BJT (**Q4**) **1208** und einen dritten npn-BJT (**Q5**) **1204**. Als ein Ergebnis ist ein erster npnp-SCR, der den **Q2 614** und den **Q1 616** aufweist, elektrisch parallel zu einem zweiten npnp-SCR, der den **Q1 616** und den **Q5 1204** aufweist, und ist ein dritter npnp-SCR, der den **Q2 614** und den **Q3 612** aufweist, ebenfalls elektrisch parallel zu einem vierten npnp-SCR, der den **Q3 612** und den **Q4 1208** aufweist. Aufgrund der Anwesenheit des **Q5 1204** und des resultierenden zweiten npnp-SCR, der durch den gekoppelten **Q1 616** und **Q5 1204** gebildet ist und der elektrisch parallel

zu der Dp **804** ist, fließt im Vergleich zu der Schutzvorrichtung **800** (Fig. **8A/8B**) eine relativ kleine Menge an Strom durch die Dp **804** in der Schutzvorrichtung **1200**. Gleichermaßen fließt, aufgrund der Anwesenheit des **Q4 1208** und des resultierenden vierten npnp-SCR, der durch den kreuzgekoppelten **Q3 612** und den **Q4 1208** gebildet ist und der elektrisch parallel zu der Dn **808** ist, im Vergleich zu der Schutzvorrichtung **800** (Fig. **8A/8B**) eine relativ kleine Menge an Strom durch die Dn **808** in der Schutzvorrichtung **1200**. Der Effekt der relativ geringeren Menge an Strom, die durch die Dp **804** und die Dn **808** fließt, ist in Fig. **13B** veranschaulicht. Als Reaktion auf ein transientes elektrisches Ereignis sind simulierte relative Prozentsätze von Strömen durch die unterschiedlichen Strompfade **1304**, **1308** und **1312** als eine Funktion der Zeit in Fig. **13B** veranschaulicht. Wie veranschaulicht ist der Prozentsatz des Stroms durch den Diodenpfad **1304** in den ersten 10 ns im Vergleich zu dem Diodenpfad **1104**, der oben für die Schutzvorrichtung **1100** mit Bezug auf Fig. **11A** beschrieben ist, relativ niedrig. Die Erfinder haben herausgefunden, dass im Vergleich zu der Schutzvorrichtung **800** (Fig. **8A/8B**) und **1100** (Fig. **11A**) dieser relativ niedrige Anteil des Stroms durch die Dioden Dp **804**, Dn **808** zu einem relativ hohen Anteil des Stroms durch den zweiten SCR-Pfad **1308** führt, was wiederum zu einer relativ niedrigen Haltespannung führt, wie oben mit Bezug auf Fig. **10A** und **10B** beschrieben ist (V-t-Kurve **1016**). Basierend auf der beobachteten Korrelation zwischen der Menge an Strom durch den Diodenpfad **104** und der Haltespannung hat der Erfinder herausgefunden, dass die Haltespannung abgesenkt werden kann, indem die relative Menge an Strom durch den Diodenpfad **1104** abgesenkt wird, indem das zentrale p<sup>+</sup>-Gebiet **1220** und die resultierenden sekundären SCRs gebildet werden, wie in Fig. **12A** und Fig. **12B** veranschaulicht ist.

[0113] Fig. **14A** und Fig. **14B** zeigen Graphen **1400A** (lineare Skala) und **1400B** (logarithmische Skala), die überlagerte experimentelle Strom-Spannung(IV)-Kurven unter TLP-Testbedingungen zeigen. Der Graph **1400A** zeigt IV-Kuren **1404**, **1408**, **1412** eines bidirektionalen npnpn-SCR ähnlich dem bidirektionalen npnpn-SCR der Vorrichtung **800** (Fig. **7A/7B**), einer Kombination des bidirektionalen npnpn-SCR und des Paares von Dioden ähnlich der Vorrichtung **800** (Fig. **8A/8B**) bzw. einer modifizierten Kombination des bidirektionalen npnpn-SCR und des Paares von Dioden ähnlich der Vorrichtung **1300** (Fig. **13A/13B**), die unten beschrieben ist. Wie oben mit Bezug auf die Schutzvorrichtung **800** (Fig. **8A/8B**) beschrieben, zeigt die IV-Kurve **1408**, wenn Kathoden der Auslösedioden Dp **804**, Dp **808** elektrisch mit dem dritten n<sup>+</sup>-Gebiet **636e** verbunden sind, eine Haltespannung (z. B. eine Spannung bei einem Strom von weniger als  $2 \times 10^{-11}$  A) an, die relativ zu der Haltespannung höher ist, die durch die IV-Kurve **1404** angezeigt wird, die der

Schutzvorrichtung **700** (Fig. **7A/7B**) entspricht, die die Auslösedioden Dp **804**, Dp **808** nicht aufweist, deren Kathoden elektrisch mit dem dritten n<sup>+</sup>-Gebiet **636e** verbunden sind. Andererseits zeigt die IV-Kurve **1412**, wie oben mit Bezug auf die Schutzvorrichtung **1300** (Fig. **13A/13B**) beschrieben, wenn Kathoden der Auslösedioden Dp **804**, Dp **808** elektrisch mit dem zentralen p<sup>+</sup>-Gebiet **1220** verbunden sind, eine Haltespannung an, die vergleichbar zu der Haltespannung ist, die durch die IV-Kurve **1404** angezeigt wird, die der Schutzvorrichtung **700** (Fig. **7A/7B**) entspricht, und niedriger als die Haltespannung ist, die durch die IV-Kurve **1408** angezeigt wird, die der Schutzvorrichtung **1300** (Fig. **13A/13B**) entspricht. Im Gegensatz zu der Haltespannung zeigen die Schutzvorrichtung **700** (Fig. **7A/7B**), die Schutzvorrichtung **800** (Fig. **8A/8B**) und die Schutzvorrichtung **1300** (Fig. **13A/13B**) ähnliche Auslösespannungen (von näherungsweise 21 V) an, wie durch die IV-Kurven **1404**, **1408** und **1412** angegeben wird. Diese Beobachtung schlägt ohne Einschränkung auf irgendeine Theorie vor, dass die Auslösespannung durch den bidirektionalen npnpn-SCR anstelle der Auslösedioden Dp **804**, Dp **808** und/oder des zweiten und vierten npnp-SCR, die den kreuzgekoppelten **Q2 614** und den **Q5 1204** und den kreuzgekoppelten **Q2 614** und **Q4 1208** aufweisen, dominiert werden kann.

[0114] Fig. **15A** ist ein Graph **1500A**, der experimentelle Strom-Spannung(IV)-Kurven veranschaulicht, die unter VF-TLP-Testbedingungen (VF-TLP: Very Fast Transmission Line Pulse - sehr schneller Übertragungsleitungspuls) gemessen wurden. Der Graph **1500A** zeigt IV-Kuren **1504**, **1508**, **1512** eines bidirektionalen npnpn-SCR in einer linearen Skala ähnlich dem bidirektionalen npnpn-SCR der Vorrichtung **800** (Fig. **7A/7B**), einer Kombination des bidirektionalen npnpn-SCR und des Paares von Dioden ähnlich der Vorrichtung **800** (Fig. **8A/8B**) bzw. einer modifizierten Kombination des bidirektionalen npnpn-SCR und des Paares von Dioden ähnlich der Vorrichtung **1300** (Fig. **13A/13B**), die unten beschrieben ist. Beim Vergleichen der IV-Kurve **1512** mit der IV-Kurve **1504** zeigt das VF-TLP-Testergebnis eine signifikante Abnahme einer Überschwungsspannung, die resultiert, wenn Kathoden der Auslösedioden Dp **804**, Dp **808** elektrisch mit dem zentralen p<sup>+</sup>-Gebiet **1220** verbunden sind. Des Weiteren zeigt die vorgeschlagene IV-Kurve **1512**, die der Schutzvorrichtung **1300** (Fig. **13A/13B**) entspricht, aufgrund der niedrigeren Klemmspannung und niedrigeren Haltespannung eine höhere Robustheit beim VF-TLP-Testen im Vergleich zu der IV-Kurve **1508**, die der Schutzvorrichtung **800** (Fig. **8A/8B**) entspricht.

[0115] Fig. **15B** ist ein Graph **1500B**, der experimentelle Spannung-Zeit(V-t)-Kurven veranschaulicht, die unter VF-TLP-Testbedingungen (VF-TLP: Very Fast Transmission Line Pulse - sehr schneller Übertragungsleitungspuls) gemessen wurden. Beim Vergleichen

chen der V-t-Kurve **1520**, die der Schutzvorrichtung **1300 (Fig. 13A/13B)** entspricht, mit der V-t-Kurve **1516**, die der Schutzvorrichtung **700 (Fig. 7A/7B)** entspricht, zeigt das VFLLP-Testergebnis eine signifikante Abnahme einer Überschwungungsspannung und eine schnellere Einschaltgeschwindigkeit, die resultieren, wenn Kathoden der Auslösedioden **Dp 804**, **Dp 808** elektrisch mit dem zentralen p<sup>+</sup>-Gebiet **1220** verbunden sind.

**[0116]** Bei den oben beschriebenen Ausführungsformen sind Einrichtungen, Systeme und Verfahren zur Alterungsüberwachung in Verbindung mit bestimmten Ausführungsformen beschrieben. Es versteht sich jedoch, dass die Prinzipien und Vorteile der Ausführungsformen für beliebige andere Systeme, Einrichtungen oder Verfahren mit einem Bedarf zum Schutz vor transienten elektrischen Ereignissen verwendet werden können. Im Vorausgehenden versteht es sich, dass ein beliebiges Merkmal von einer beliebigen der Ausführungsformen mit einem beliebigen anderen Merkmal einer beliebigen anderen der Ausführungsformen kombiniert oder durch dieses ersetzt werden kann.

**[0117]** Aspekte dieser Offenbarung können in verschiedenen elektronischen Vorrichtungen implementiert werden. Beispiele für die elektronischen Vorrichtungen können unter anderem Verbraucherelektronikprodukte, Teile der Verbraucherelektronikprodukte, elektronische Testausstattung, Zellularkommunikationsinfrastruktur, wie etwa eine Basisstation, usw. einschließen. Beispiele für die elektronischen Vorrichtungen können unter anderem ein Mobiltelefon, wie etwa ein Smartphone, eine anziehbare Rechenvorrichtung, wie etwa eine Smartwatch oder ein Ohrstück, ein Telefon, einen Fernseher, einen Computermonitor, einen Computer, ein Modem, einen Handheld-Computer, einen Laptop-Computer, einen Tablet-Computer, einen persönlichen digitalen Assistenten (PDA), eine Mikrowelle, einen Kühlschrank, ein Fahrzeugelektroniksystem, wie etwa ein Automobilelektroniksystem, eine Stereoanlage, einen DVD-Player, einen CD-Player, einen digitalen Musikabspieler, wie etwa einen MP3-Player, ein Radio, einen Camcorder, eine Kamera, wie etwa eine digitale Kamera, einen tragbaren Speicherchip, eine Waschmaschine, einen Trockner, einen Waschtrockner, eine Peripherievorrichtung, eine Uhr usw. einschließen. Ferner können die Elektronikvorrichtungen nichtfertige Produkte einschließen.

**[0118]** Es sei denn, dass der Kontext deutlich Anderes erfordert, sind die Wörter „aufweisen“, „aufweisend“, „einschließen“, „einschließend“ und dergleichen in der gesamten Beschreibung in einem einschließenden Sinne aufzufassen, im Gegensatz zu einem ausschließenden oder erschöpfenden Sinn; das soll heißen, im Sinne von „einschließlich, aber nicht darauf beschränkt“. Das Wort „gekoppelt“, wie

hier allgemein verwendet, verweist auf zwei oder mehr Elemente, die entweder direkt verbunden sein können oder durch ein oder mehr Zwischenelemente verbunden sein können. Gleichermaßen verweist das Wort „verbunden“, wie hier allgemein verwendet, auf zwei oder mehr Elemente, die entweder direkt verbunden sein können oder durch ein oder mehr Zwischenelemente verbunden sein können. Zusätzlich sollen sich die Wörter „hier“, „vorstehend“, „nachfolgend“, „oben“, „unten“ und Wörter ähnlicher Bedeutung, wenn sie in dieser Anmeldung verwendet werden, auf diese Anmeldung in Gänze und nicht auf irgendwelche bestimmte Teile dieser Anmeldung beziehen. Wo es der Kontext zulässt, können Wörter in der obigen Ausführlichen Beschreibung, die den Singular oder den Plural verwenden, auch jeweils den Plural oder den Singular einschließen. Das Wort „oder“ soll mit Bezug auf eine Liste von zwei oder mehr Einträgen alle der folgenden Interpretationen des Worts abdecken: irgendeiner der Listeneinträge, alle der Listeneinträge und jegliche beliebige Kombination der Listeneinträge.

**[0119]** Darüber hinaus ist hier verwendete bedingte Sprache, wie unter anderem „kann“, „könnte“, „möglich“, „möglichlicherweise“, „z.B.“, „beispielsweise“, „wie etwa“ und dergleichen, soweit nicht insbesondere anders dargelegt oder sonstwie innerhalb des genutzten Kontexts verstanden, im Allgemeinen dafür vorgesehen, mitzuteilen, dass gewisse Ausführungsformen gewisse Merkmale, Elemente und/oder Zustände aufweisen, wohingegen andere Ausführungsformen diese nicht aufweisen. Somit ist derartige bedingte Sprache nicht allgemein dafür vorgesehen, zu implizieren, dass Merkmale, Elemente und/oder Zustände in irgendeiner Weise für eine oder mehrere Ausführungsformen erforderlich sind, oder ob diese Merkmale, Elemente und/oder Zustände in einer bestimmten Ausführungsform enthalten oder durchzuführen sind.

**[0120]** Während gewisse Ausführungsformen beschrieben worden sind, sind diese Ausführungsformen lediglich beispielhaft präsentiert worden und sollen den Schutzzumfang der Offenbarung nicht beschränken. Tatsächlich können die neuartigen Einrichtungen, Verfahren und Systeme, die hier beschrieben sind, in einer Vielzahl anderer Formen ausgeführt werden; des Weiteren können verschiedene Auslassungen, Substitutionen und Änderungen an der Form der hier beschriebenen Verfahren und Systeme vorgenommen werden, ohne von der Idee der Offenbarung abzuweichen. Beispielsweise können, während Blöcke in einer gegebenen Anordnung präsentiert sind, alternative Ausführungsformen ähnliche Funktionalitäten mit unterschiedlichen Komponenten und/oder Schaltkreistopologien durchführen und können manche Blöcke entfernt, verschoben, hinzugefügt, unterteilt, kombiniert und/oder modifiziert werden. Jeder dieser Blöcke kann in einer Vielzahl unter-

schiedlicher Arten implementiert werden. Eine beliebige geeignete Kombination der Elemente und Handlungen der vielfältigen oben beschriebenen Ausführungsformen kann kombiniert werden, um weitere Ausführungsformen bereitzustellen. Die verschiedenen oben beschriebenen Merkmale und Prozesse können unabhängig voneinander implementiert werden oder können auf verschiedene Arten kombiniert werden. Alle geeigneten Kombinationen und Teilkombinationen der Merkmale dieser Offenbarung sollen in den Schutzbereich dieser Offenbarung fallen.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- ISO-7637- [0017]
- ISO-16750-Standard [0017]
- ISO10605-Standard [0017]

### Patentansprüche

1. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung, die Folgendes aufweist:

einen ersten Bipolartransistor (BJT);  
einen zweiten BJT, der mit dem ersten BJT kreuzgekoppelt ist, um als ein erster halbleitergesteuerter Gleichrichter (SCR: Semiconductor-Controlled Rectifier) zu arbeiten, wobei eine Basis des ersten BJT mit einem Kollektor des zweiten BJT verbunden ist und eine Basis des zweiten BJT mit einem Emitter oder einem Kollektor des ersten BJT verbunden ist;  
eine Auslösevorrichtung, die eine erste Diode mit einer Kathode aufweist, die elektrisch mit der Basis des ersten BJT verbunden ist; und  
einen dritten BJT, der mit dem zweiten BJT kreuzgekoppelt ist, um als ein zweiter SCR zu arbeiten, wobei der dritte BJT einen Kollektor, der mit der Basis des zweiten BJT verbunden ist, und eine Basis, die mit dem Kollektor des zweiten BJT verbunden ist, aufweist.

2. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach Anspruch 1, die ferner eine erste Wanne eines ersten Typs aufweist, die als die Basis des ersten BJT ausgebildet ist, wobei die erste Wanne des ersten Typs zwischen einer ersten Wanne eines zweiten Typs, die als der Kollektor des ersten BJT ausgebildet ist, und einer zweiten Wanne des zweiten Typs, die als ein Emitter des ersten BJT ausgebildet ist, dazwischenliegt, wobei die erste Wanne des ersten Typs ferner ein darin gebildetes erstes stark dotiertes Gebiet des zweiten Typs aufweist.

3. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei die Kathode der ersten Diode mit der Basis des ersten BJT durch das erste stark dotierte Gebiet des zweiten Typs verbunden ist.

4. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach Anspruch 2 oder Anspruch 3, die ferner mehrere Metallisierungsebenen aufweist, die oberhalb eines Halbleitersubstrats gebildet sind, in dem der erste BJT, der zweite BJT, der dritte BJT und die Auslösevorrichtung gebildet sind, wobei die Kathode der ersten Diode elektrisch mit der Basis des ersten BJT durch eine oder mehrere der Metallisierungsebenen verbunden ist.

5. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei die erste Wanne des zweiten Typs ferner als die Basis des zweiten BJT ausgebildet ist, wobei die Basis des zweiten BJT zwischen einem ersten stark dotierten Gebiet des ersten Typs, das in der ersten Wanne des zweiten Typs gebildet ist und als ein Emitter des zweiten BJT ausgebildet ist, und einer tiefen Wanne des ersten Typs, die unter der ersten Wanne des zweiten Typs gebildet ist und als der Kollektor des zweiten BJT ausgebildet ist, gebildet ist.

6. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach einem vorhergehenden Anspruch, die ferner einen ersten Anschluss (T1) und einen zweiten Anschluss (T2) aufweist, wobei der erste SCR als ein bidirektionaler SCR ausgebildet ist, der eine Kathode/Anode (K/A), die elektrisch mit dem T1 verbunden ist, und eine Anode/Kathode (A/K), die elektrisch mit dem T2 verbunden ist, aufweist, wobei die Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung dazu ausgebildet ist, als Reaktion auf ein elektrisches Überlastsignal, das zwischen T1 und T2 empfangen wird, aktiviert zu werden.

7. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Auslösevorrichtung ferner eine zweite Diode mit einer Kathode, die elektrisch mit der Basis des ersten BJT verbunden ist, aufweist und wobei eine Anode der ersten Diode elektrisch mit dem T1 verbunden ist und wobei eine Anode der zweiten Diode elektrisch mit dem T2 verbunden ist.

8. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach Anspruch 7, die ferner einen vierten BJT aufweist, der mit dem zweiten BJT kreuzgekoppelt ist, um als ein dritter SCR zu arbeiten, wobei der vierte BJT einen Kollektor, der mit der Basis des zweiten BJT verbunden ist, und eine Basis, die mit dem Kollektor des zweiten BJT verbunden ist, aufweist.

9. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung, die Folgendes aufweist:  
ein Halbleitersubstrat, das einen darin gebildeten bidirektionalen halbleitergesteuerten Gleichrichter (SCR) aufweist, wobei der bidirektionale SCR zwischen einem ersten Anschluss und einem zweiten Anschluss gebildet ist, wobei der bidirektionale SCR eine zentrale Wanne eines ersten Typs aufweist, die ein darin gebildetes zentrales stark dotiertes Gebiet eines zweiten Typs aufweist;  
eine oder mehrere Metallisierungsebenen, die oberhalb des Halbleitersubstrats gebildet sind; und  
ein Paar von Dioden, wobei eine Kathode von jeder der Dioden elektrisch mit der zentralen Wanne des ersten Typs durch die eine oder die mehreren Metallisierungsebenen verbunden ist.

10. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach Anspruch 9, wobei der bidirektionale SCR einen ersten Bipolartransistor (BJT) mit der zentralen Wanne des ersten Typs, die als eine Basis ausgebildet ist, aufweist, wobei der bidirektionale SCR ferner eine erste Wanne des zweiten Typs, die als ein Kollektor des ersten BJT ausgebildet ist, und eine zweite Wanne des zweiten Typs, die als ein Emitter des ersten BJT ausgebildet ist, aufweist, wobei die zentrale Wanne des ersten Typs zwischen der ersten und zweiten Wanne des zweiten Typs liegt.

11. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach Anspruch 10, wobei der bidirektionale SCR ferner eine erste und zweite elektrisch potentialfreie Metall-

schicht aufweist, die auf der zentralen Wanne des ersten Typs gebildet sind, wobei die erste und zweite elektrisch potentialfreie Schicht lateral durch das zentrale stark dotierte Gebiet des zweiten Typs eingeschoben sind.

12. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach Anspruch 10 oder Anspruch 11, wobei der bidirektionale SCR ferner einen zweiten BJT aufweist, der mit dem ersten BJT kreuzgekoppelt ist, um als der bidirektionale SCR zu arbeiten, wobei eine Basis des ersten BJT mit einem Kollektor des zweiten BJT verbunden ist und eine Basis des zweiten BJT mit einem Emitter oder einem Kollektor des ersten BJT verbunden ist.

13. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach Anspruch 12, die ferner eine tiefe Wanne des ersten Typs aufweist, wobei sowohl die zentrale Wanne des ersten Typs als auch die erste und zweite Wanne des zweiten Typs in der tiefen Wanne des ersten Typs gebildet sind.

14. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach Anspruch 13, wobei der zweite BJT ein stark dotiertes Gebiet des ersten Typs aufweist, das als ein Emitter dient, der in der ersten Wanne des zweiten Typs gebildet ist, wobei die erste Wanne des zweiten Typs als eine Basis des zweiten BJT dient und die tiefe Wanne des ersten Typs als ein Kollektor des zweiten BJT dient.

15. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, die ferner einen dritten BJT aufweist, der mit dem zweiten BJT kreuzgekoppelt ist, um als ein zweiter SCR zu arbeiten, wobei der dritte BJT einen Kollektor, der mit der Basis des zweiten BJT verbunden ist, und eine Basis, die mit dem Kollektor des zweiten BJT verbunden ist, aufweist.

16. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach Anspruch 15, wobei das zentrale stark dotierte Gebiet des zweiten Typs als ein Emitter des dritten BJT ausgebildet ist, die zentrale Wanne des ersten Typs als eine Basis des dritten BJT ausgebildet ist und die erste Wanne des zweiten Typs als ein Kollektor des dritten BJT ausgebildet ist.

17. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung, die Folgendes aufweist:

ein Halbleitersubstrat mit drei oder mehr darin gebildeten Wannern, die eine erste Wanne eines ersten Typs, die zwischen einer ersten Wanne eines zweiten Typs und einer zweiten Wanne des zweiten Typs liegt, aufweist;

eine oder mehrere Metallisierungsebenen, die oberhalb des Halbleitersubstrats gebildet sind;

mehrere Bipolartransistoren (BJTs), die in den drei oder mehr Wannern gebildet sind und dazu ausgebildet sind, als ein bidirektionaler halbleitergesteuerter Gleichrichter (SCR) und als ein SCR, der in den

drei oder mehr Wannern gebildet ist, zu arbeiten, wobei sowohl der bidirektionale SCR als auch der SCR ein Paar von Bipolartransistoren (BJTs) aufweist, wobei jeder des Paares von BJTs eine Basis aufweist, die mit einem Kollektor des anderen des Paares von BJTs verbunden ist;

eine zweite Wanne des ersten Typs und eine dritte Wanne des ersten Typs, die in dem Halbleitersubstrat gebildet sind und durch die drei oder mehr Wannern eingeschoben werden;

eine erste Diode, die in der zweiten Wanne des ersten Typs und der ersten Wanne des zweiten Typs gebildet ist; und

eine zweite Diode, die in der dritten Wanne des ersten Typs und der zweiten Wanne des zweiten Typs gebildet ist,

wobei Kathoden der ersten und zweiten Diode elektrisch durch die eine oder mehreren der Metallisierungsebenen miteinander verbunden sind.

18. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach Anspruch 17, wobei der bidirektionale SCR und der SCR einen gemeinsamen BJT teilen.

19. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach Anspruch 18, wobei die Kathoden der ersten und zweiten Diode durch die eine oder die mehreren Metallisierungsebenen gemeinsam mit der ersten Wanne des ersten Typs verbunden sind.

20. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach Anspruch 19, wobei eine Basis des gemeinsamen BJT und eine Anode der ersten Diode in der ersten Wanne des zweiten Typs gebildet sind.

21. Integrierter-Schaltkreis-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 20, die ferner einen oder mehrere Kernschaltkreise aufweist, die in dem Halbleitersubstrat integriert sind, um ein System-on-Chip (SOC) zu bilden.

Es folgen 21 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

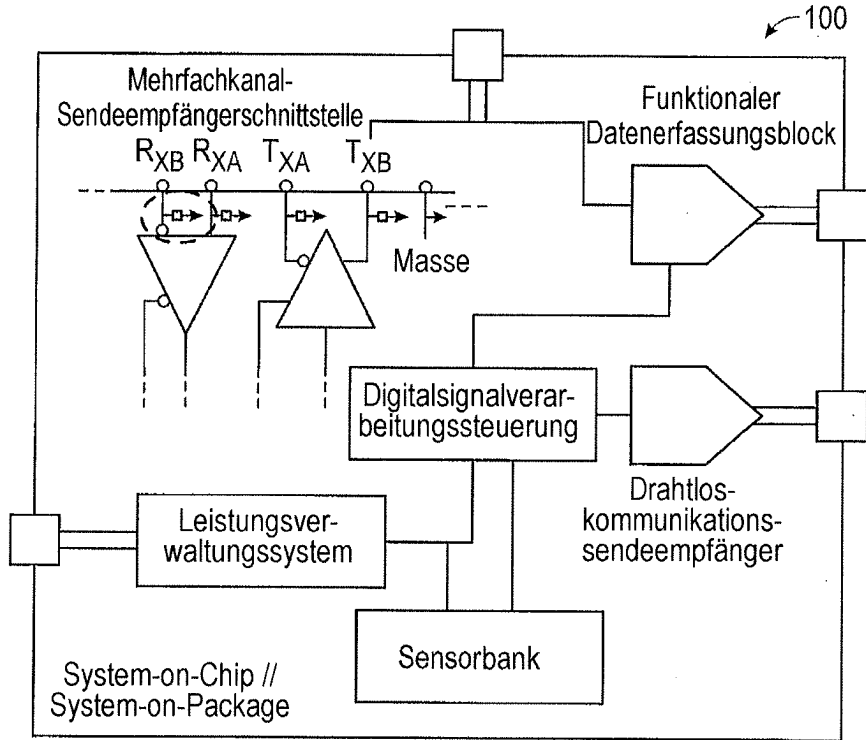


FIG. 1A

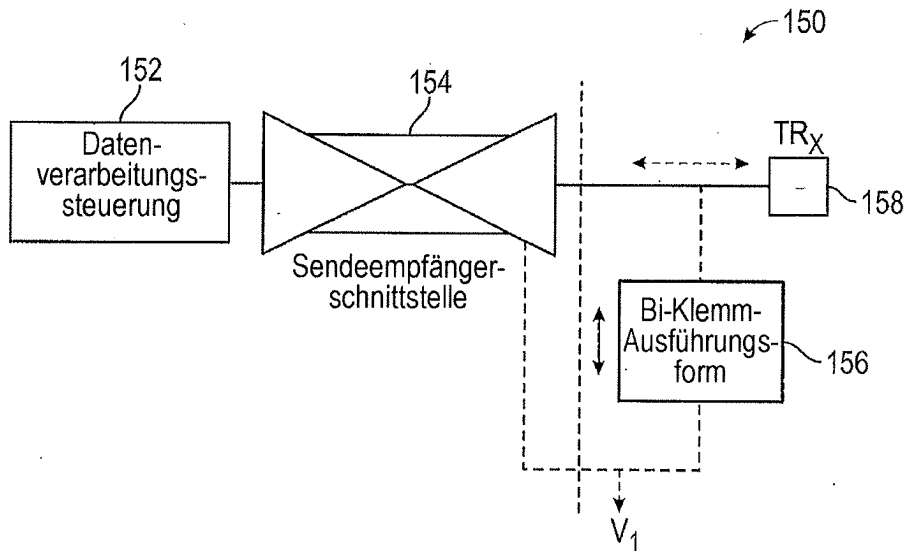


FIG. 1B

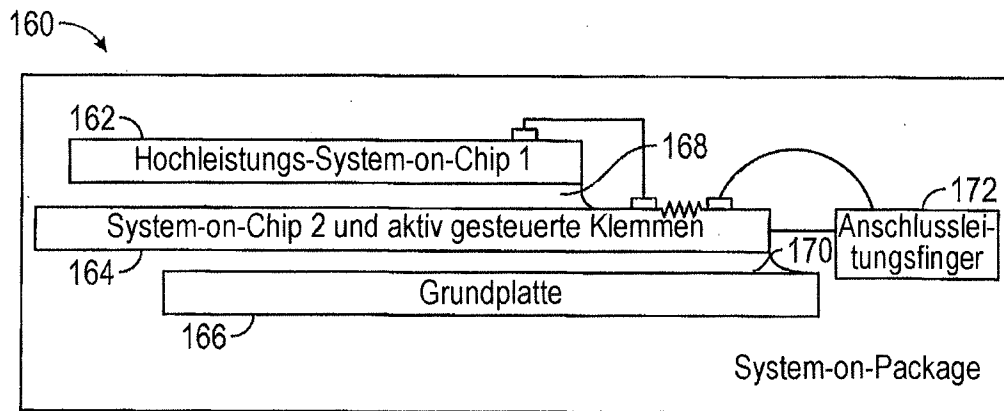


FIG. 1C

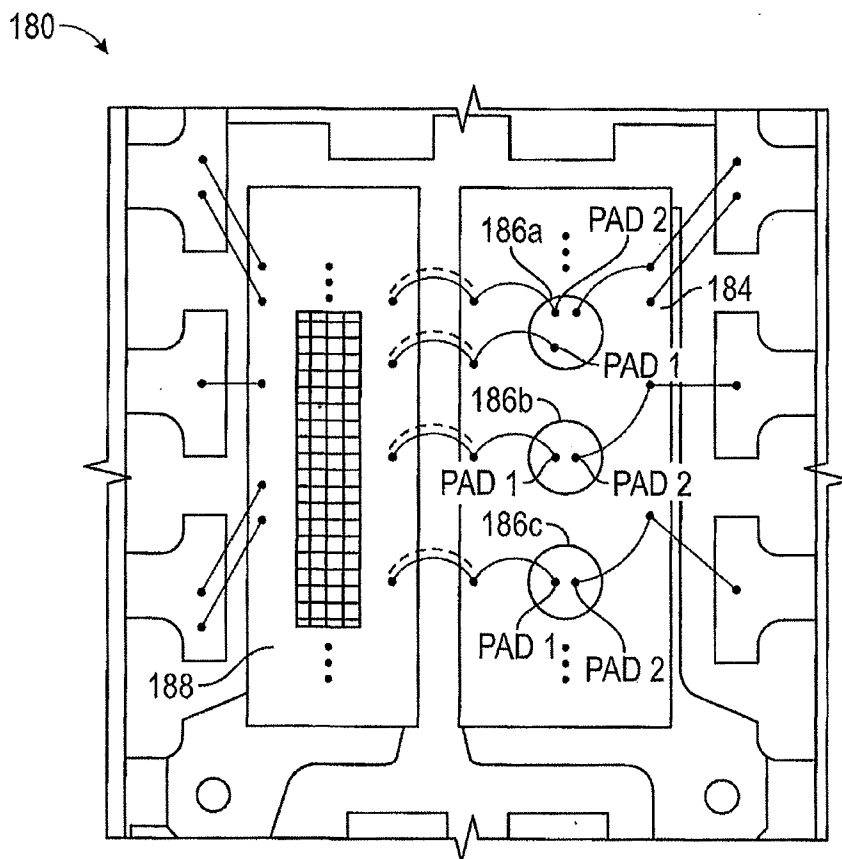


FIG. 1D

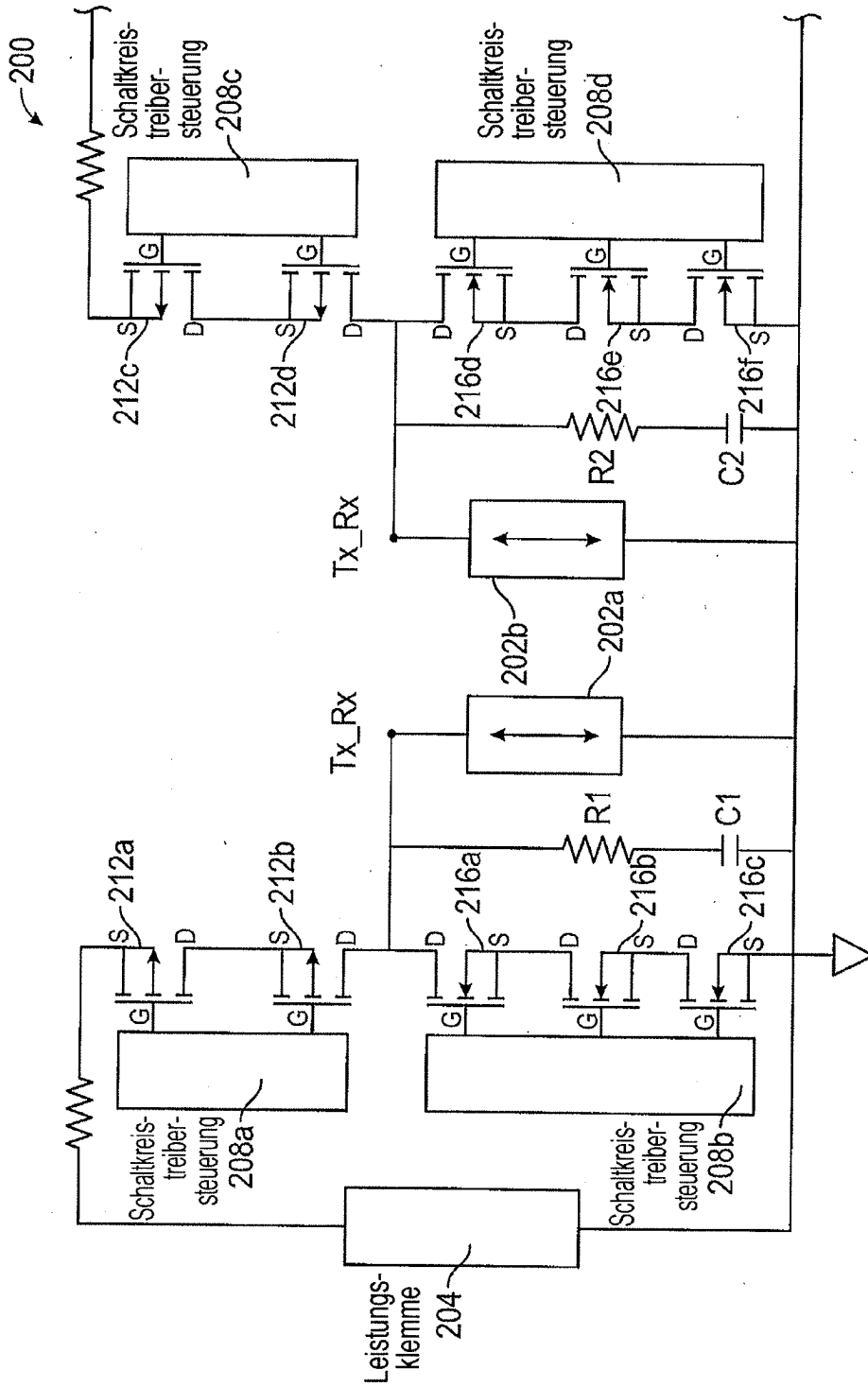


FIG. 2A

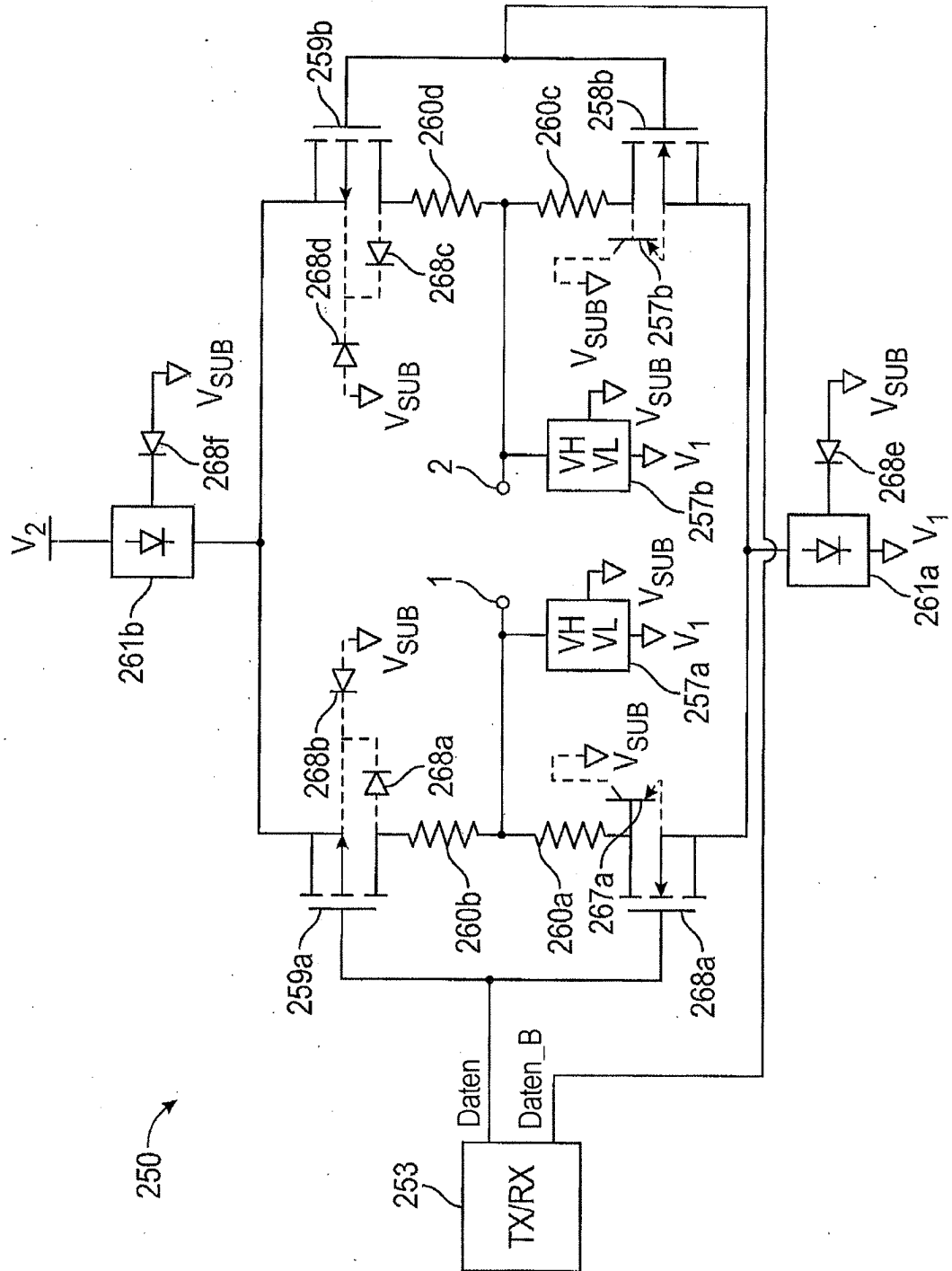


FIG. 2B

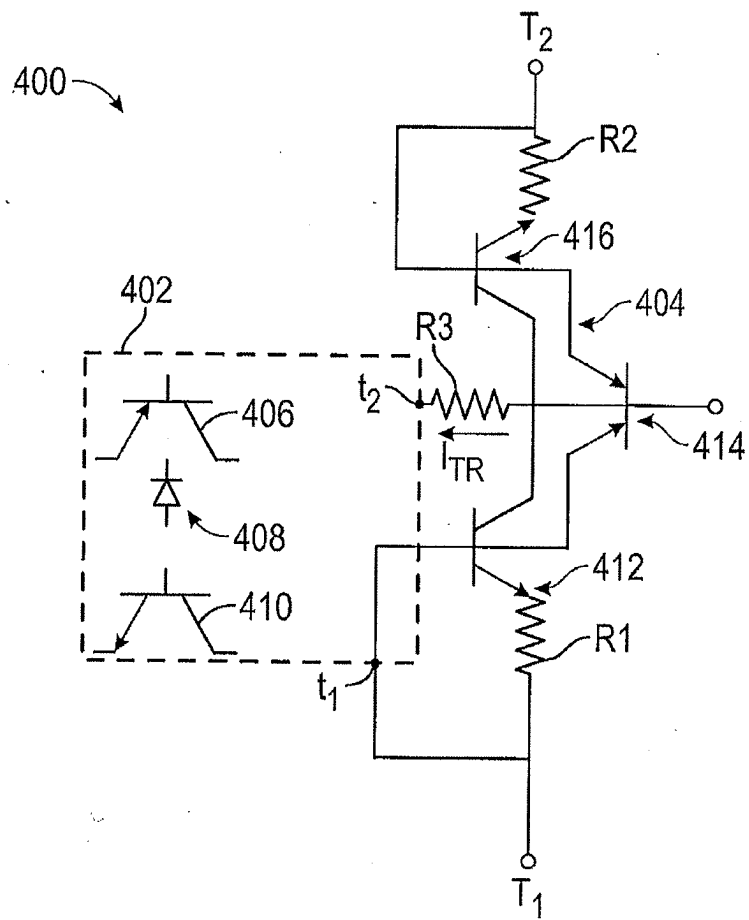


FIG. 3A

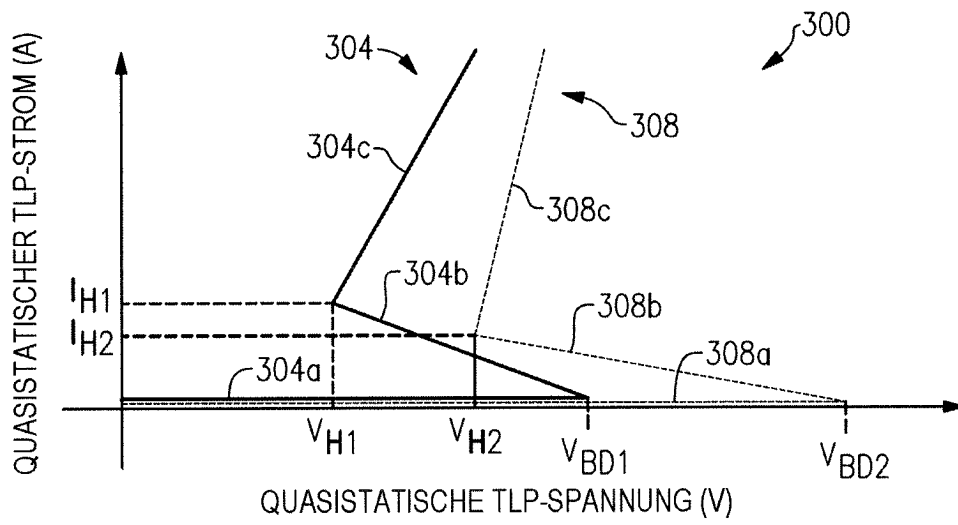


FIG.3B

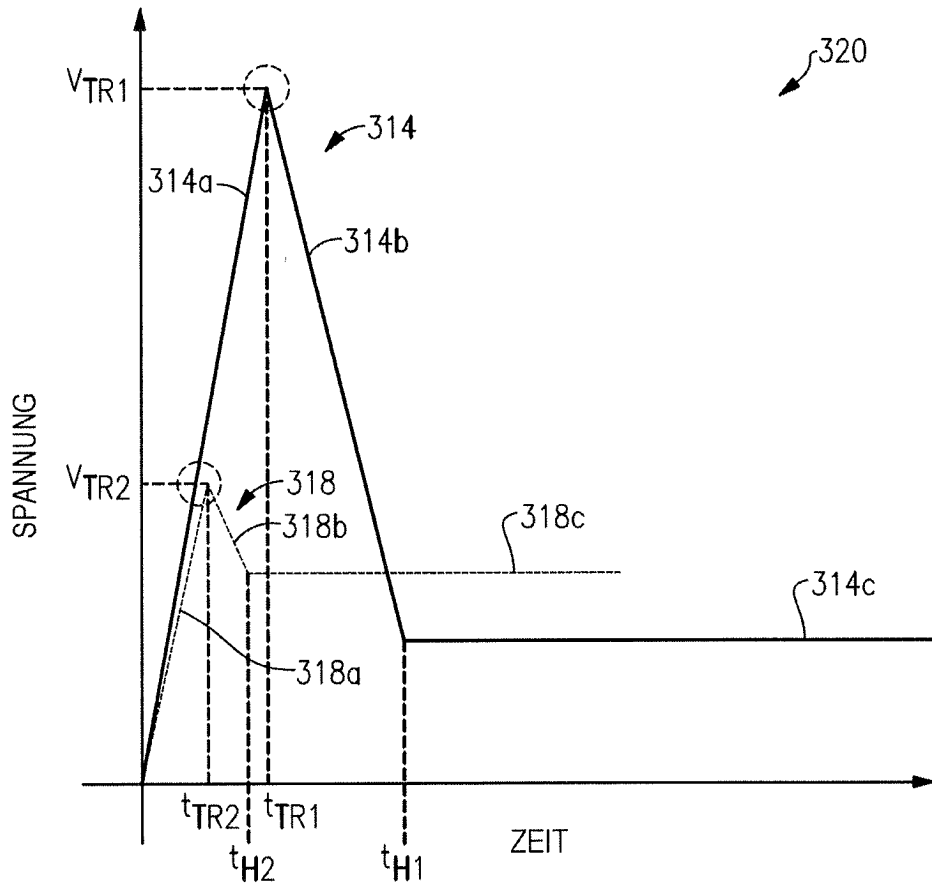


FIG.3C

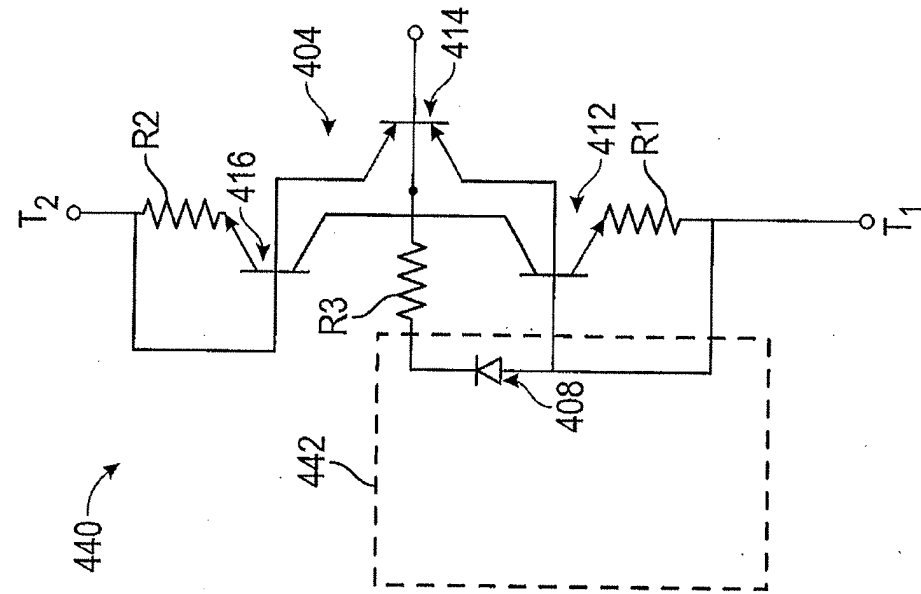


FIG. 4A

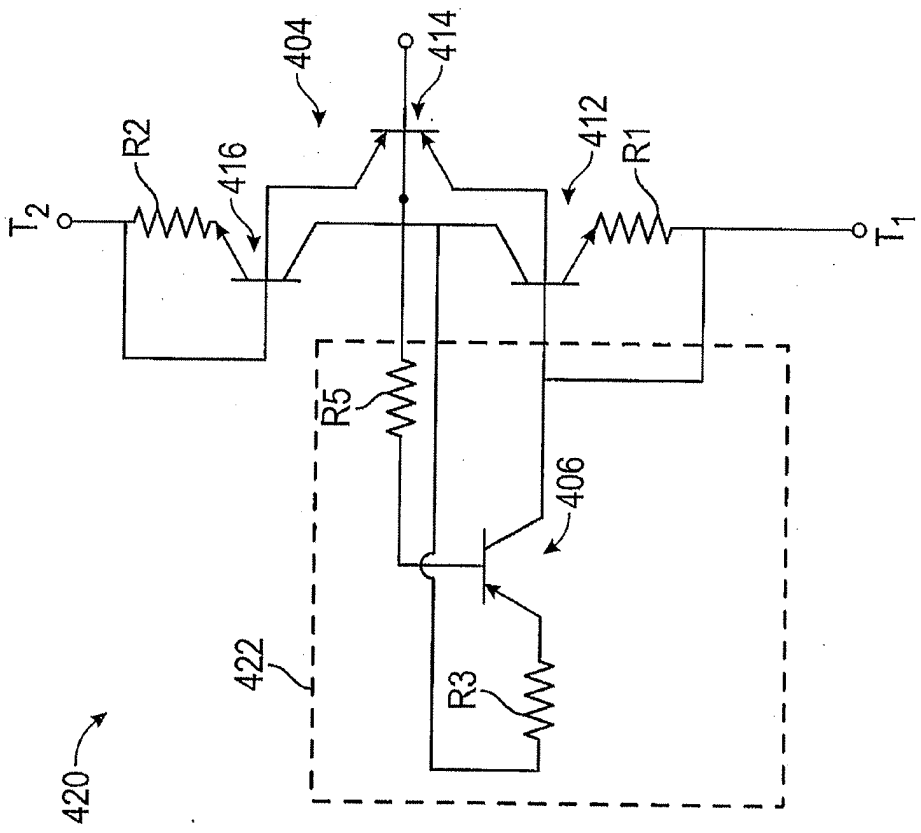


FIG. 4B

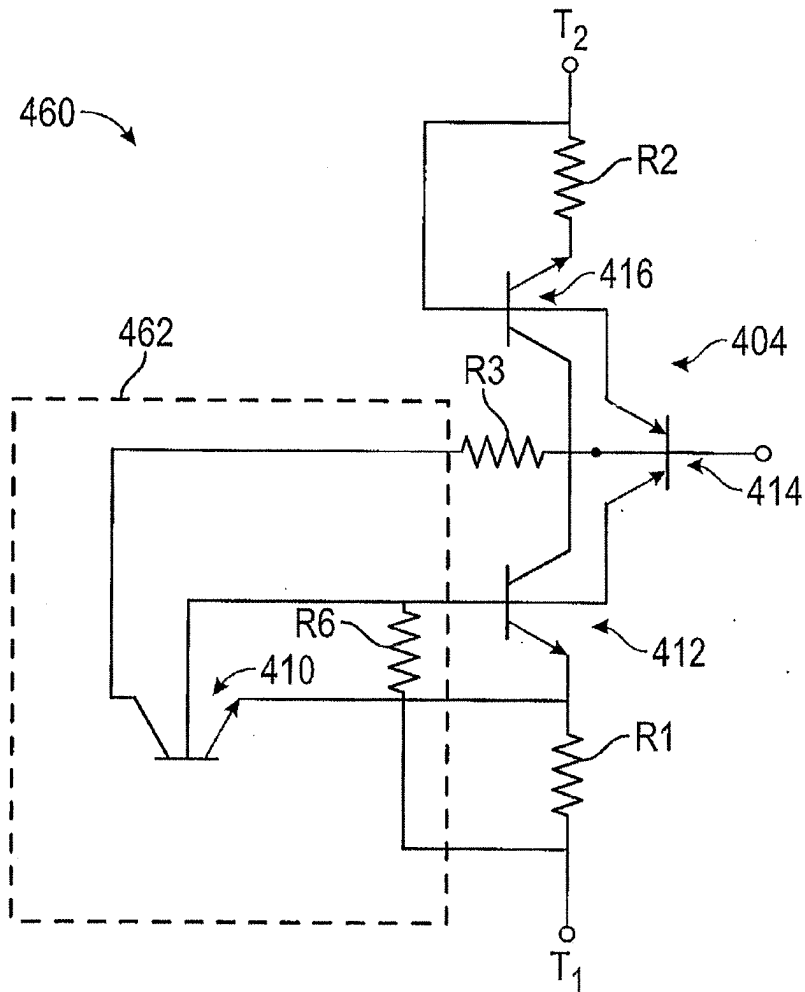


FIG. 4C









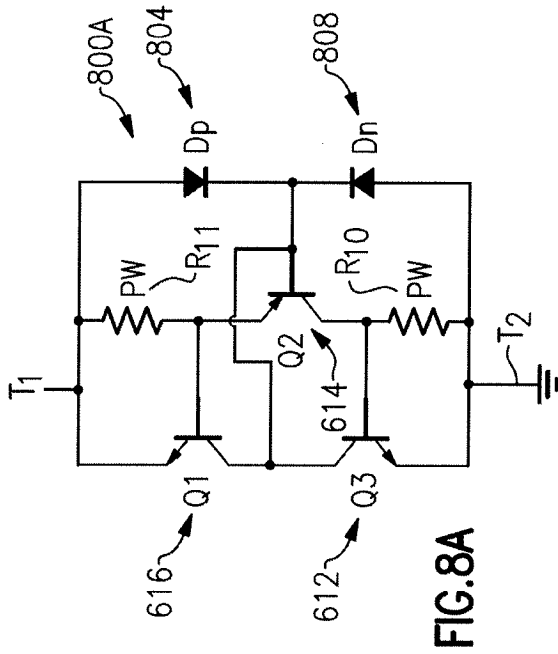


FIG. 8A

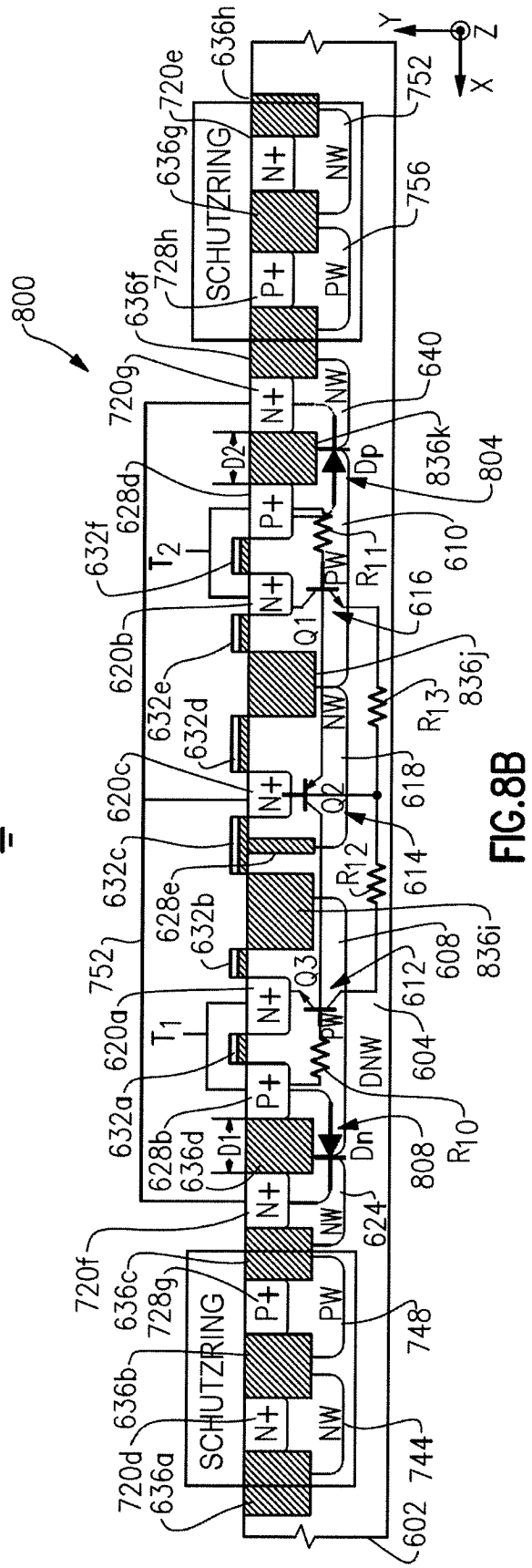


FIG. 8B

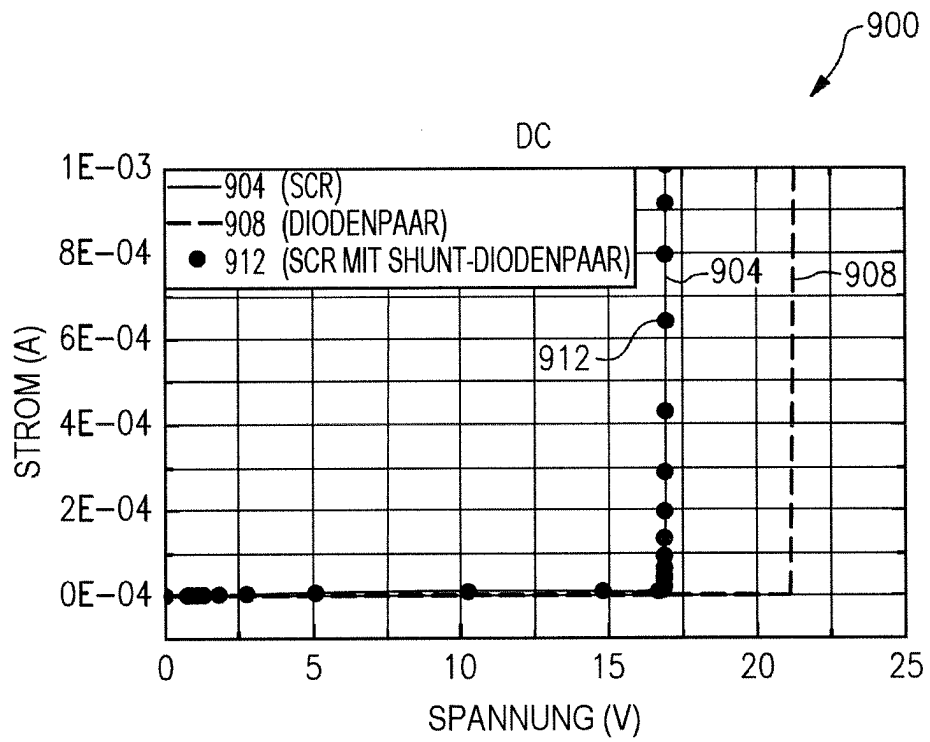


FIG.9

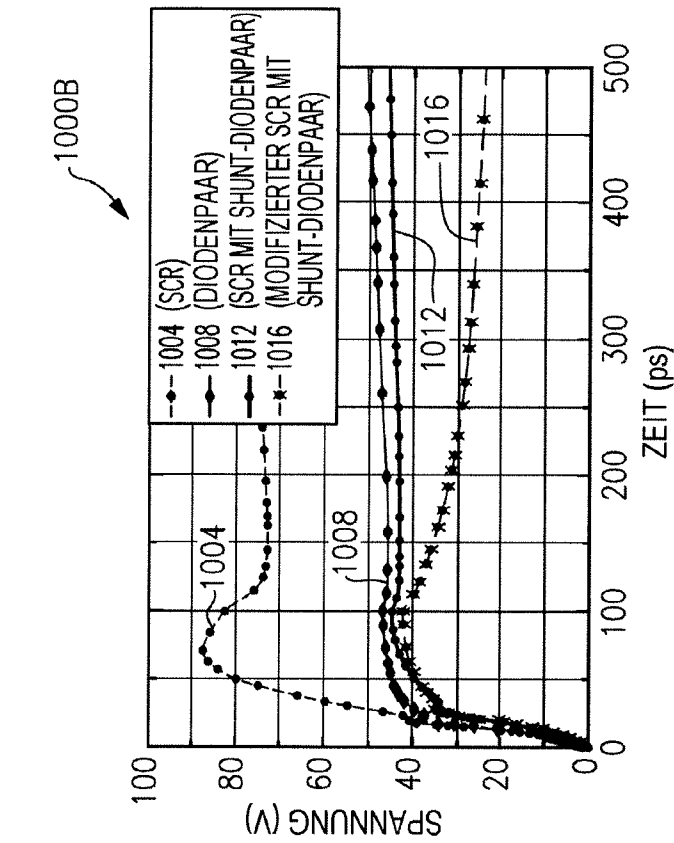


FIG.10A

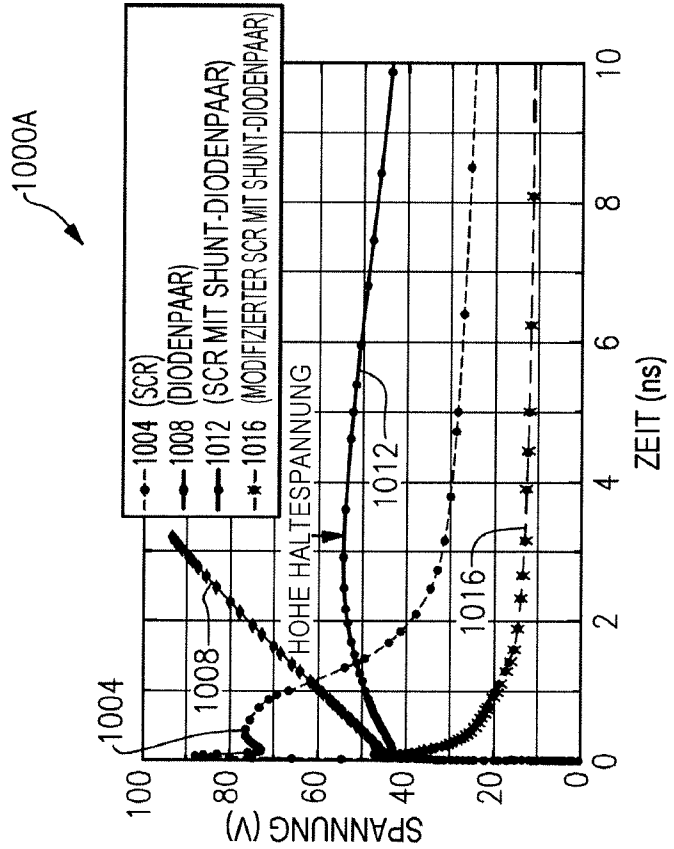


FIG.10B





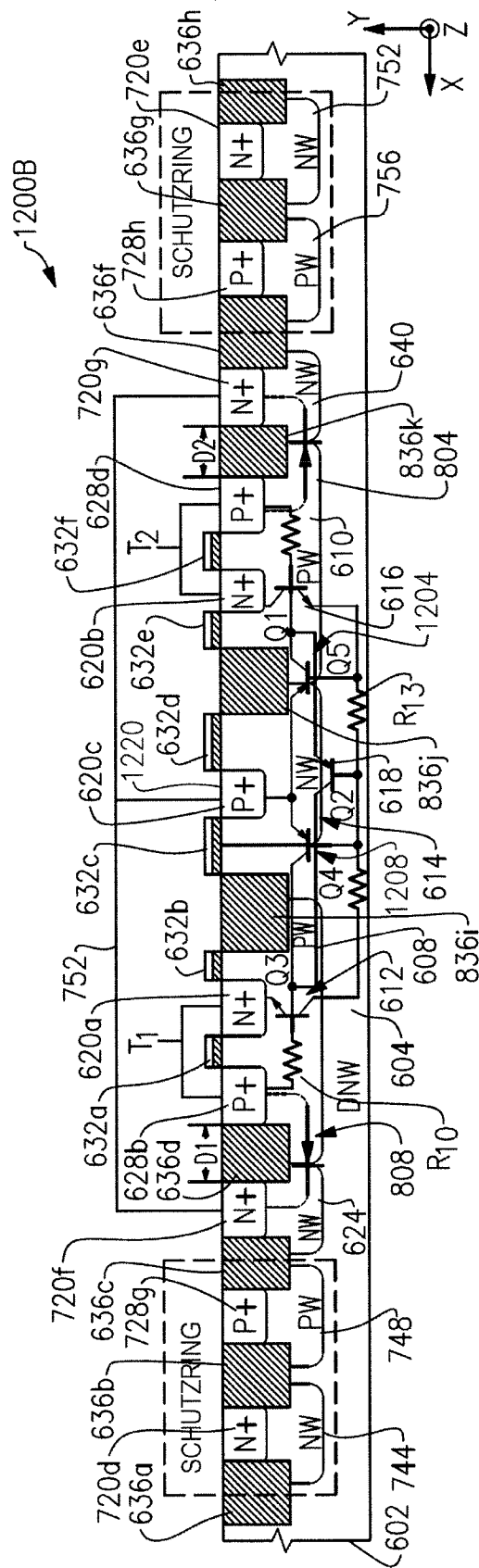


FIG.12C

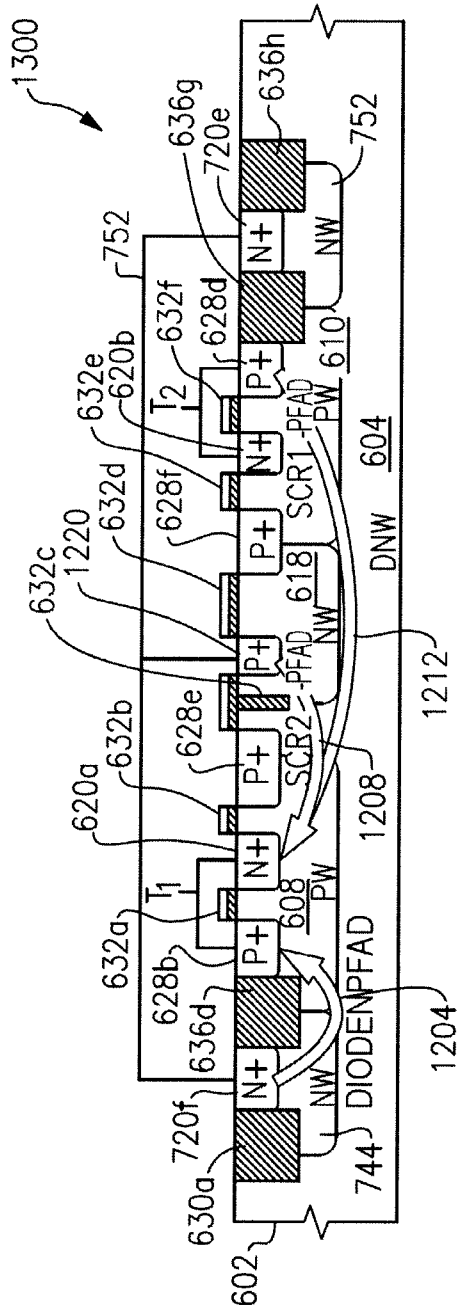


FIG. 13A

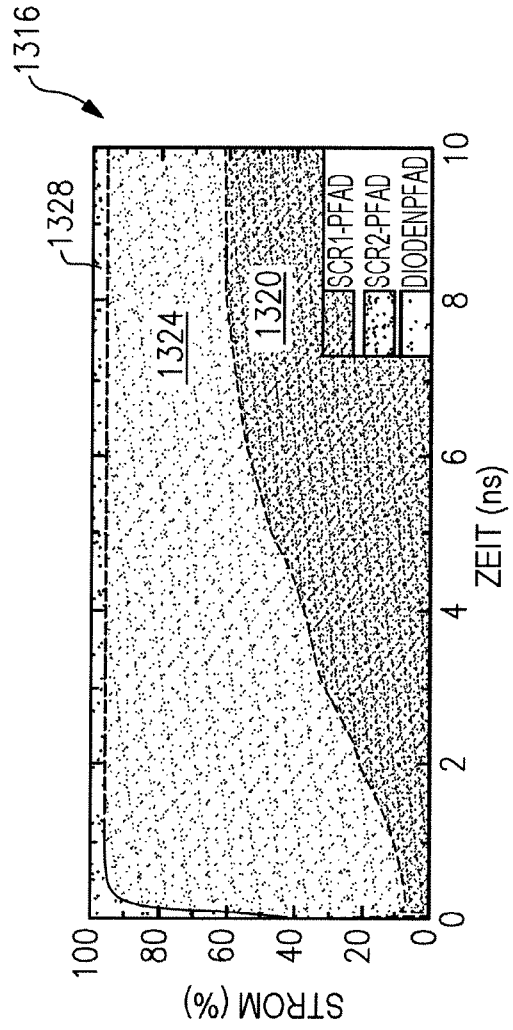


FIG. 13B

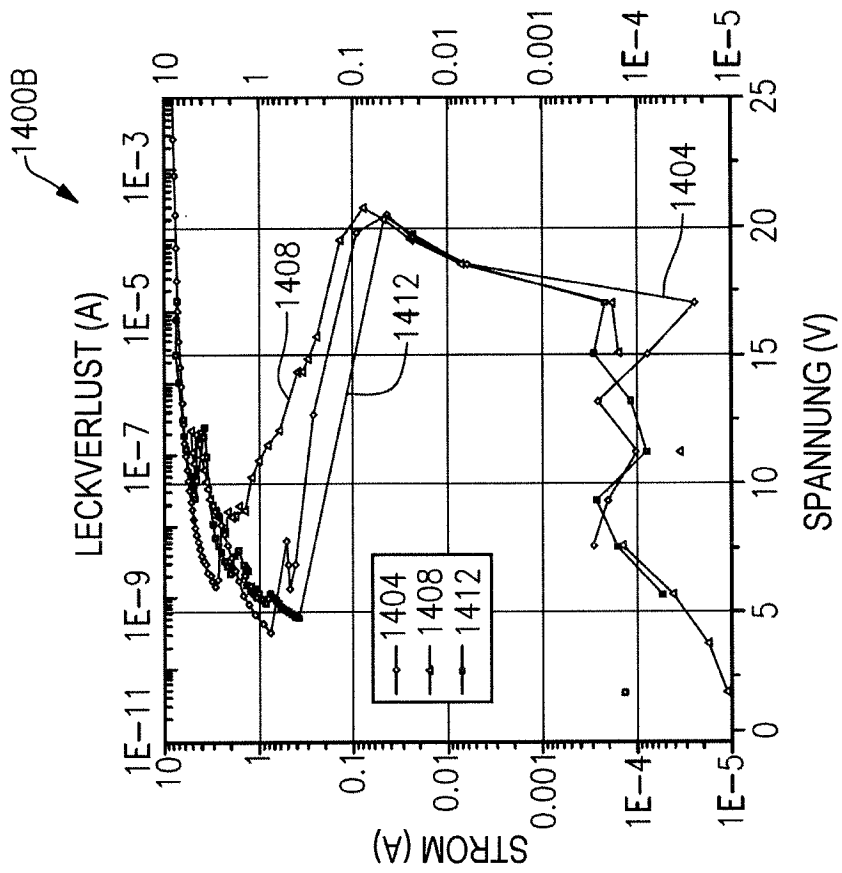


FIG.14B

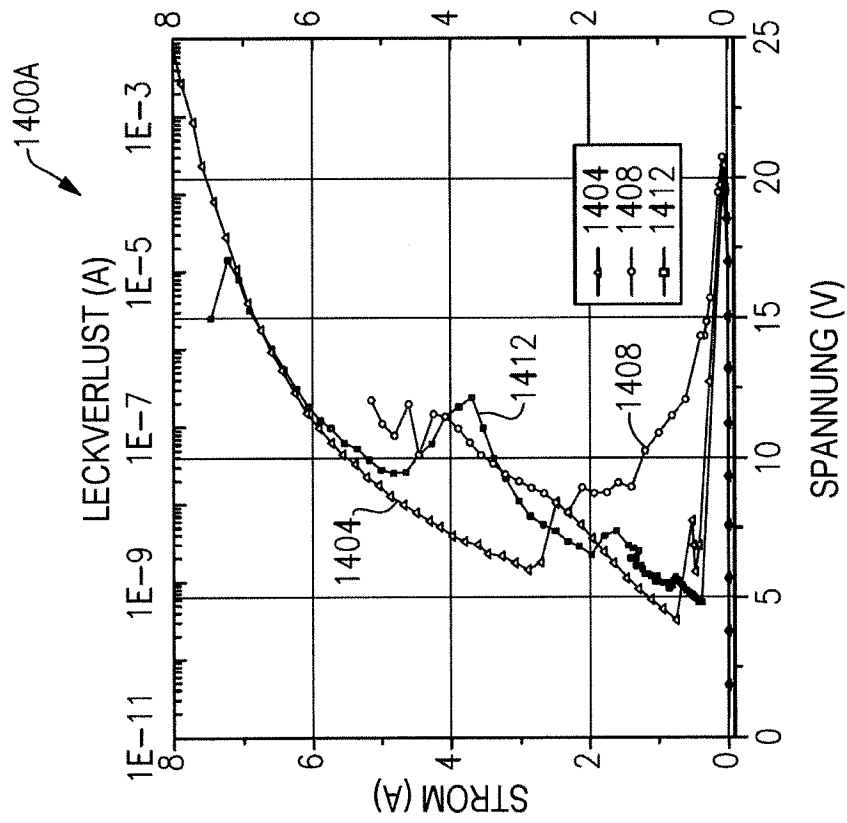


FIG.14A

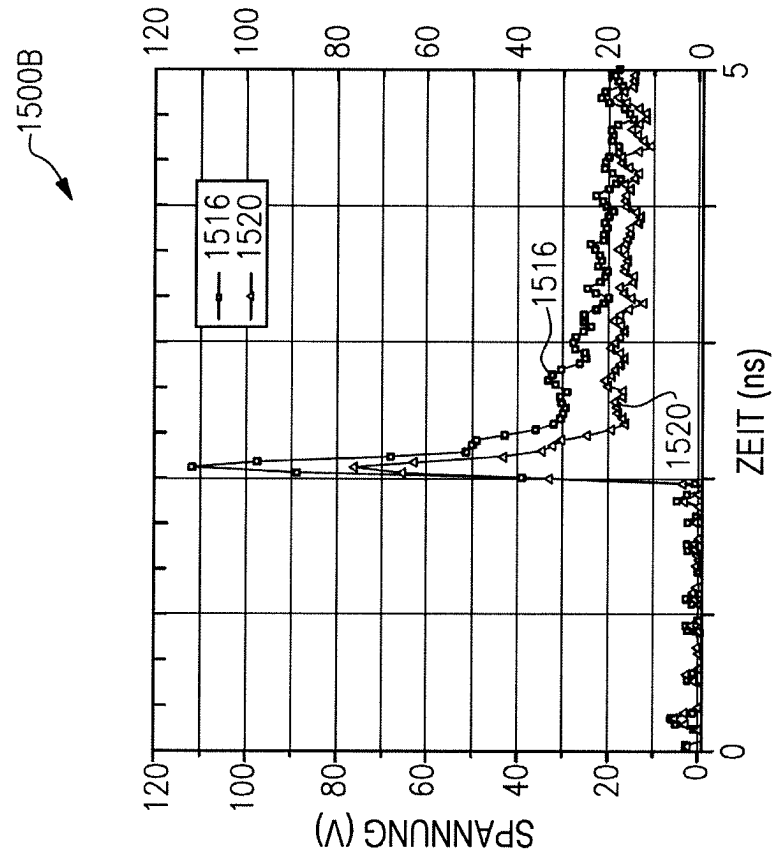


FIG.15A

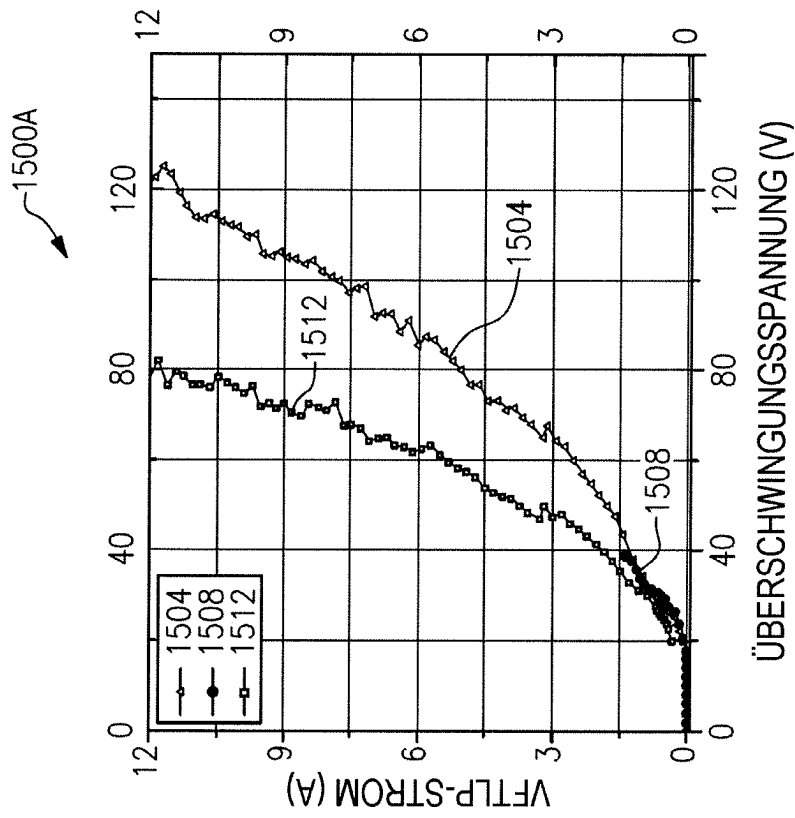


FIG.15B